[illegible]

[illegible]

Bau und Betrieb
Elektrischer Bahnen.

Handbuch

zu deren

Projektierung, Bau und Betriebsführung

von

Max Schiemann,

Civil-Ingenieur für elektrische Bahnen und Anlagen.

I. Band.

Strassenbahnen.

Mit 521 Abbildungen, 1 lithographischen Tafel, 3 Tafeln Diagramme und mehreren Figurentafeln und Tabellen.

Dritte vermehrte und verbesserte Auflage.

LEIPZIG
VERLAG VON OSKAR LEINER.
1900.

Vorwort zur ersten Auflage.

Die Veranlassung zur Bearbeitung eines Werkes über elektrische Bahnen war nicht allein das Fehlen eines solchen in der deutschen Litteratur, sondern vielmehr ein allgemein gefühltes Bedürfnis nach Belehrung über diesen interessanten Zweig der Technik. Die Quellen, aus denen der Gebildete die Fortschritte seines Arbeitsfeldes schöpft, sind in den verschiedensten Zeitschriften und Büchern zerstreut, und es ist heutzutage niemandem mehr möglich, sich durch die Fülle sämtlicher Aufsätze so hindurchzuarbeiten, dass ein klares Bild unverwischt bleibt. Nur der Spezialist eines eng begrenzten Zweiges der Technik vermag noch einen systematischen Auszug aus dem Wichtigsten und Wissenswertesten zusammenzutragen, und aus einer solchen kurz gefassten Sammlung kann der Neuling die Grundzüge erkennen, kann der Laie so viel Belehrung finden, um sich eine Vorstellung von den Vorgängen und notwendigsten Bedürfnissen des betreffenden Gebietes machen zu können, sie kann dem Fachmann neue Anregungen in seinem Arbeitsfelde bieten.

Diese Aufgabe für den Bau und Betrieb elektrischer Bahnen zu erfüllen, bezweckt das nachfolgende Werk. Hoffentlich gelingt es, durch Zusammenfassung und Veröffentlichung meiner langjährigen praktischen Erfahrungen unter Berücksichtigung der in Zeitschriften und Büchern zerstreuten Notizen in dieser Form einigen Nutzen zu stiften.

Die erste Entwickelungsperiode elektrischer Bahnen finden wir bei den Strassenbahnen. Es liegt in der Natur der elektrischen Betriebsart, gerade hier die praktische Bedürfnisfrage zuerst beantwortet zu sehen. Das Verlangen nach einem geeigneten Strassenbahnmotor lag seit langem vor, und die Folge davon war, dass die Konkurrenz der bahnbauenden Firmen einen starken Impuls zu vollendeterer Form gab. Heute sind die üblich gewordenen elektrischen Strassenbahnsysteme zu einem gewissen Abschluss gelangt.

Der vorliegende I. Band des Werkes ist daher nur der Behandlung der Strassenbahnen (Kleinbahnen) gewidmet.

Während das praktisch Bewährte in erster Reihe hier Aufnahme gefunden hat, sind auch die »frommer Wunsch« gebliebenen Ideen gestreift worden, denn die Technik hat schon oft gelehrt, dass verfallene Ideen, von anderen wieder erkannt und aufgegriffen, reiche Früchte getragen haben.

Denjenigen, welche mich bei der Herausgabe meiner Arbeit thatkräftig unterstützt haben, sage ich an dieser Stelle verbindlichen Dank.

Einer Aufgabe zu dienen, versagt der Verfasser dem Werke von vornherein, und das ist, ein strikter Führer durch alle Modalitäten einer zu erbauenden, zu betreibenden oder zu verändernden Bahnanlage zu sein. Dieses Ziel kann natürlich kein Buch erreichen, weil hier nur der lebendige Gedanke des Ingenieurs helfend eingreifen kann. Nur dieses Bildners geistige Thätigkeit ist imstande, für jeden Ort, für jede Zeit, für jedes Bedürfnis die passendste Bauart zu empfinden, die beste Möglichkeit zu ergründen.

Berlin, Oktober 1895.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die gute Aufnahme, welcher sich das Erscheinen meines Werkes zu erfreuen hatte, möge auch diese, nach kaum zwei Jahren nötig gewordene neue, zeitgemäss erweiterte Auflage begleiten.

Im Kreise meiner Fachgenossen bin ich sehr oft gefragt worden, ob es jetzt schon richtig ist, mit den noch nicht überall geklärten Ansichten über elektrische Bahnen in gesammelter Form hervorzutreten? — Ich will durch diese meine Arbeit nur verhindern, dass jeder junge Ingenieur die gleichen technischen Kinderkrankheiten auf diesem Spezialgebiete durchmachen muss, ehe er zu fruchtbringender, das Gebiet fördernder Thätigkeit gelangen kann.

Die innerhalb der letzten Jahre zu verzeichnenden Fortschritte und Erfahrungen habe ich mit peinlichster Sorgfalt gesammelt, für die vorliegende Auflage gesichtet und mit kritischen Augen behandelt. Meine als Gutachter für elektrische Bahnanlagen oftmals in Anspruch genommene Thätigkeit ermöglicht es mir, von vielen Verhältnissen und Bedürfnissen persönlich Kenntnis zu erhalten. Trotzdem aber ist es mir bei der überaus schnellen Entwickelung der elektrischen Bahnen unmöglich, alles bringen zu können. Ich bitte deshalb alle Fachgenossen, welche ein Interesse daran haben, dass der deutsche Techniker mitteilsamer wird, als er es ist, mich auf Unvollkommenheiten des Buches unmittelbar aufmerksam zu machen.

Wegen etwaiger Mängel und Lücken sei mir gestattet, an Goethe's Ausspruch zu erinnern: »So eine Arbeit wird eigentlich nicht fertig, man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Möglichste daran gethan hat«. Und letzteres ist meinerseits geschehen.

Dresden, 13. September 1897.

Der Verfasser.

Vorwort zur dritten Auflage.

Fast möchte ich sagen, dass nunmehr das vorliegende Werk fertig ist, weil ich wieder einige Lücken ausgefüllt habe. So z. B. ist das Kapitel Oberbau wesentlich vervollständigt worden. Inzwischen sind auch einige Spezialwerke erschienen, sodass ich mich bei den betreffenden Kapiteln auf entsprechende Hinweise beschränken durfte und musste, weil sonst der Umfang des Werkes allzu gross und dasselbe damit teurer geworden wäre.

Mit allen diesen Ergänzungen und Neuerungen und in Vereinigung mit dem zweiten Bande, dürfte mein Werk zur Zeit wohl das vollkommenste der gesamten in- und ausländischen Litteratur sein.

Dresden, September 1900.

Der Verfasser.

Inhalt.

I. Einleitung.

II. Stromerzeugung.

III. Stromfortleitung.

IV. Stromverbrauch.

V. Betriebsführung.

VI. Verschiedenes.

Abkürzungen.

Amp. = Ampère (Ampere, Amper); E T Z = Elektrotechnische Zeitschrift; Z. d. V. d. Ing. = Zeitschrift des Vereins der Ingenieure; f. d. = für das; d. i. = das ist; rd. = rund.

I.

Einleitung.

1. Allgemeines.

Nach unseren heutigen Begriffen erscheint es uns als selbstverständlich, dass der elektrische Strom, in eine stillstehende Dynamomaschine geleitet, diese in Bewegung setzen muss. Ehe man aber diese Thatsache kannte, war dies nicht so selbstverständlich, und wenn auch nicht zu leugnen ist, dass der Elektromotor auf theoretischem Wege später doch entdeckt worden wäre, so ist doch anzunehmen, dass noch Jahre darüber hingegangen wären, ehe man das Bedürfnis empfunden hätte, diese Möglichkeit zu klären. Die hochbedeutsame Entdeckung, dass man mittels des elektrischen Stromes mechanische Kräfte praktisch fortleiten kann, soll eine rein zufällige gewesen sein. In den Werkstätten der Gramme-Gesellschaft in Paris hatte man zwei Dynamomaschinen zu Beleuchtungszwecken aufgestellt, von denen die eine in Thätigkeit war, während die andere still stand. Ein Arbeiter legte zwei am Boden liegende Leitungsdrähte, von denen er annahm, dass sie zu der stillstehenden Maschine gehörten, an die Klemmschrauben derselben. Zum grössten Erstaunen begann die Maschine sich von selbst in Bewegung zu setzen; man fand heraus, dass sie von dem Strom der anderen Dynamo getrieben wurde. Während also in der ersten Maschine die Kraft der Dampfmaschine in elektrischen Strom umgewandelt wurde und dieser durch die Leitung zu der anderen Dynamo floss, verwandelte diese den elektrischen Strom wieder in mechanische Arbeit. [1]) 1873 auf der Wiener Weltausstellung wurde diese wichtige Thatsache durch Hippolyte Fontaine weiteren Kreisen bekannt gemacht, indem derselbe eine kleine elektrische Maschine mit dem Strom einer Dynamomaschine betrieb, wobei die Leitungen zwischen beiden Maschinen über 2 *km* Länge hatten. Ein französischer Elektrotechniker, Marcel Deprez, hat auf diesem Felde unermüdlich

---

[1]) Andere Lesarten über die zufällige Erfindung des Elektromotors giebt Gisbert Kapp in seinem Buche »Elektrische Kraftübertragung«.

gearbeitet. Er hat z. B. 1882 auf der Münchener Ausstellung Versuche vorgeführt, welche die Möglichkeit der Ausführung bewiesen, aber die technischen Schwierigkeiten waren noch sehr gross. 4 PS wurden von München nach Kufstein, 55 *km* weit, geleitet; die Spannung betrug 1500 Volt. Seine Leitung war ein Eisendraht von 4 *mm* Stärke; also der gewöhnliche Telegraphendraht war imstande, auf solche Entfernungen als Leiter benutzt zu werden.

Wir wollen uns an dieser Stelle nicht mit der Verwertung des Elektromotors im allgemeinen befassen, sondern können hier nur auf die Verwendung dieser Maschine für den Betrieb elektrischer Bahnen eingehen.

So eng dieses Feld für den Elektromotor beim ersten Blick begrenzt scheint, so vielseitig ist das Vorkommen, so abwechslungsreich die Verwendung, so mannigfaltig die Konstruktion des Elektromotors.

Man hatte kaum den Elektromotor entdeckt, als man sofort seine rühmlichen Eigenschaften für den Bahnbetrieb erkannte. Freilich fehlte es nicht an Enttäuschungen, weil die Konstruktions-Einzelheiten nicht erprobt und die Beanspruchungen noch unbekannt waren.

Es liegt nun die Frage nahe, aus welchen Gründen dieser Motor für die Fortbewegung von Fahrzeugen in der kurzen Zeit von etwa zwanzig Jahren zu solch hoher Blüte gelangen konnte, zumal seine anfängliche, innere Konstruktion recht viel zu wünschen übrig liess.

Wenn man von den in neuester Zeit aufgetauchten de Laval'schen Dampfturbinen absieht, so schlugen alle Versuche, die Dampfmaschinen als rotierende Maschinen zu bauen, fehl an der mangelhaften Ökonomie gegenüber den hin- und hergehenden Maschinen. Man musste also wohl oder übel die hin- und hergehende Bewegung des Dampfkolbens in den Kauf nehmen und durch geeignete Maschinenelemente die rotierende Bewegung hervorbringen.

Mit solchen Hilfsmitteln war es auch nur möglich, die Dampflokomotive und die Dampfwagen mit allen ihren mechanischen Unarten zu konstruieren. Gleis, Zugmechanismen, Wagen u. s. w. wurden der Lokomotive bezw. dem Dampfwagen angepasst, sodass wir heute ein geordnetes Ganzes vor uns haben.

Bei dem Massenverkehr in den Strassen amerikanischer Städte war man sehr bald von dem Pferdebetrieb für Strassenbahnen abgekommen. Einen guten und leicht teilbaren Motorenbetrieb kannte man noch nicht. Es lag daher sehr nahe, die einzelnen Wagen, ähnlich wie bei Seilbahnen, durch ein Drahtseil (Kabel) fortzuziehen.

Die Konstruktion der Kabelbahnen ist charakterisiert durch einen Kanal in der Mitte des Gleises, welcher oben einen sich in der

ganzen Länge erslreckenden Schlitz besitzt. In diesem Kanal wird das Zugseil, auf Rollen gestützt, geführt. Die Wagen besitzen sehr kompliziert konstruierte Greifer, mit denen sich die Wagen an das bewegte Seil festklammeın und mitgenommen werden.

Die Anwendbarkeit dieser Kabelbahnen ist nur dann zu empfehlen, wenn:

1. Die Strecken einen ungeheuer intensiven Verkehr (natürlich auf zweigleisiger Strecke) besitzen,

2. eine Strecke sehr grosse Steigungen zu überwinden hat, da der Seilbetrieb unabhängig von der Adhäsion ist,

3. die Strecke möglichst ohne Kurven gebaut werden kann,

4. die Kanalisierungsverhältnisse der Strasse günstige sind, um den Seilkanal leicht entwässern zu können,

5. die Bahnlänge nicht zu gross und das Netz nicht zu verzweigt ist.

Die Nachteile der Kabelbahnen sind:

1. Die grosse Vergänglichkeit des Kabels,

2. die grossen Reibungsverluste desselben,

3. die Abhängigkeit aller Wagen von der guten Beschaffenheit des dem grossen Verschleiss ausgesetzten Kabels,

4. dass das Kabel bei Vollbetrieb und bei Leerlauf gleichen Widerstand hat.

Der beste Beweis dafür, dass die amerikanischen Kabelbahnen sich überlebt haben, liegt darin, dass die meisten Kabelbahnen in elektrisch betriebene Bahnen, teils mit oberirdischer, teils mit unterirdischer Stromzuführung umgewandelt worden sind, bezw. noch werden.

Wenn es sich bei elektrischen Bahnen darum handelt, die Kraftstation dadurch am besten auszunutzen, dass der Verkehr ein möglichst intensiver ist, so ist dies bei Kabelbahnen in erhöhtem Masse der Fall, denn ausser der Kraftstation ist hier das Kabel, welches den grössten Teil der Betriebskosten für sich in Anspruch nimmt, gleichgültig, ob es leer läuft oder stark belastet ist, für die gute Ausnützung der Anlage massgebend. Die Reparaturkosten des Kabels sind fast unabhängig von der Ausnutzung des Kabels.

Um ein weitverzweigtes Netz durch Kabelbahnen zu betreiben, ist es erforderlich, sehr viele Kraftstationen zu errichten, während bei elektrischem Betriebe die Arbeitsverteilung sich wesentlich einfacher gestaltet.

Im Gegensatz zu den amerikanischen Kabelbahnen haben sich in Deutschland Gasbahnen Eingang zu schaffen versucht. Auf dem ersten Kleinbahnkongress in München schilderte Fromm-Dessau die in Dessau angewendeten Gasmotoren. Nach dem bisherigen Resultat

kommen die Kosten bei einem 10 PS leistenden Motorwagen für ein Wagenkilometer auf 16 Pf. einschliesslich Wagenführer, auf 18 Pf. mit vollen Betriebskosten. Bei 16stündigem Betrieb und 125 Zug-*km* beträgt der Gaskonsum im Jahr 23000 *cbm*, bei 18stündigem Betrieb und 140 *km* Leistung 30000 *cbm*. Bereits hat man versucht, 15pferdige Maschinen unter den Wagen anzubringen. Der Gasverbrauch wird zu 400 — 500 *l* für 1 Wagenkilometer angegeben. Für die Komprimierung des mitzunehmenden Gasquantums sind 15 % Zuschlag zu rechnen. Auf Linien mit dichtem Verkehr kann der Gaswagen jedoch weder mit dem elektrischen Betriebe, noch mit dem Kabelbetriebe konkurrieren. Hingegen hätte der Gaswagen auf langen Linien mit spärlichem Verkehr seine volle Berechtigung, da elektrisch betrieben eine solche Bahn die Anlagekosten der Kraftstation und der Leitungsanlagen nicht genügend ausnutzt. Der Gaswagen enthält als Betriebsmechanismus die Gasbehälter, Gasleitungen, Reduzierventil, eine Zweicylinder-Gasmaschine mit elektrischer Zündung, mehrere Zahnradübersetzungen, zwei Reibungskuppelungen, eine doppelte Klauenkuppelung und schliesslich noch Kettengetriebe. Bedenkt man, dass dieser komplizierte Mechanismus in dem beschränkten Raume unter den Sitzen und unterhalb des Wagens untergebracht werden muss, so ist wohl klar, dass in Bezug auf Einfachheit der Gaswagen sehr weit hinter dem elektrischen Motorwagen mit seinen vollkommen eingekapselten zwei Motoren und einfachen Rädervorgelegen zurücksteht. In rechter Erkenntnis dessen hat man in neuerer Zeit dem Betriebe mit Gaslokomotiven mehr Aufmerksamkeit zugewandt, um in der Anordnung der Antrieb-Mechanismen nicht zu sehr beschränkt zu sein. Die hohen Unterhaltungskosten der beim Gaswagen notwendigen vielen bewegten Teile und die periodischen Reinigungskosten des Motors selbst finden erst bei einer schlecht ausgenutzten, d. h. also spärlich betriebenen elektrischen Bahnanlage mit direkter Stromzuführung den Ausgleich, sodass man den Gasmotorwagen einen Pionier für elektrische Bahnen genannt hat, der den Verkehr so lange vermitteln sollte, bis durch die Zunahme desselben die Einführung des leistungsfähigeren und einfacheren elektrischen Betriebes finanziell durchführbar geworden ist.

Der Gasmotor, der gegenüber der kleinen Dampfmaschine den unbestreitbaren Vorteil des billigeren Betriebes besitzt, hat mit dieser zusammen jedoch dem Elektromotor gegenüber für die Fortbewegung von Fahrzeugen den Nachteil, dass momentane Mehrleistungen, wie solche bei Fahrzeugen unvermeidlich sind, von den Hub- und Cylindermotoren bei den zur Verfügung stehenden spezifischen Pressungen nicht überwunden werden können. Man muss vielmehr die Cylinder und Kolben für die Höchstleistung bemessen und

erhält dadurch ungünstige Ausnutzung bei normalem Durchschnittsbetriebe. Hierzu kommt, dass von einer Selbstregulierung dieser Motoren abgesehen werden muss, und dass eine sorgsame Reinigung der inneren Reibungsflächen beim Gasmotor von ganz besonderem Werte ist, da z. B. ein Gasmotor nach einwöchentlichem Dauerbetriebe schon einen 20—25% höheren Gasverbrauch aufweist, als gleich nach der Reinigung. Der Elektromotor ist frei von diesen Unannehmlichkeiten.

Die Gasmotorenbetriebe in Dresden, Dessau und Hirschberg-Hermsdorf haben nunmehr den elektrischen Betrieben weichen müssen, die an deren Stelle getreten sind. Leider ist die beabsichtigte Pionierarbeit von diesen Gasmotorwagen nicht geleistet worden, denn der Grund ihrer Abschaffung liegt lediglich in den unerschwinglichen Reparaturkosten und in der Unzuverlässigkeit der Betriebsmittel. Die Gasmotorwagen der bisherigen Form können in Deutschland als endgiltig abgethan betrachtet werden. Eine Auferstehung in veränderter und sicherlich hoffnungsvollerer Form stellt der Patton-Motorwagen (vergl. II. Band dieses Werkes, Kap. XII, Seite 153) dar.

Was von dem Gasmotorbetriebe gilt, bleibt im gleichen Masse für die anderen Explosionsmotoren, wie Petroleum-, Benzin- und Wärmemotoren, bestehen und gilt annähernd auch für Druckluftbahnen, von deren Einführung man zwar alljährlich aber spärliche Kunde erhält.

Der Druckluftbetrieb hat sicherlich manche angenehme Eigenschaft und könnte mit dem ihm ähnlichen Dampfwagenbetrieb (Rowan, Serpollet u. dergl.) für Strassenbahnen sehr wohl wetteifern, wenn dieser seiner sehr hohen Betriebskosten wegen nicht ebenfalls auf dem Aussterbeetat stünde.

Um einer Neuerung, wie dies die elektrischen Bahnen sind, Eingang zu verschaffen, war zunächst die Bedürfnisfrage aufzustellen, und diese war anfangs für Hauptbahnen noch nicht zu Gunsten der elektrischen Zugkraft zu beantworten, so lange es sich um die Fortbewegung grosser Massen in grösseren Zeitabschnitten handelt. Diese können durch die Dampflokomotive entschieden billiger befördert werden. Erst sobald die heute üblichen Geschwindigkeitsgrenzen überschritten werden müssen, und die Reisegewohnheiten mit den kulturellen Fortschritten andere geworden sein werden, wird die Bedürfnisfrage für Hauptbahnen zur Elektrizität neigen müssen.

Dagegen sind es die Strassen- und Vorortbahnen, welche für den elektrischen Betrieb eine entwickelungsreiche Vergangenheit aufweisen, und zwar aus Gründen, welche durch das heutige Verkehrswesen innerhalb und ausserhalb der grossen Städte bedingt wurden.

Die Schaffung schneller und billiger Verkehrsmittel für den Lokalverkehr ist in unserer Zeit zu einem dringenden Bedürfnis geworden. Die rasche Zunahme der Bevölkerung, zusammen mit dem Bestreben, gesunde, mit Licht und Luft hinreichend versehene Wohnungen zu schaffen, haben eine ungeahnte räumliche Ausdehnung aller grösseren Städte herbeigeführt, sodass benachbart gelegene Vororte zu Stadtteilen wurden, und die Wohnungen der Städter sich noch über diese Zone hinaus bis zu den weiter gelegenen Orten vorschoben, für welche eine Verbindung mit dem Verkehrscentrum nunmehr notwendig wurde.

In gleicher Weise äussert die zunehmende Konzentration der Industrie in den Grossbetrieben ihre Wirkung. Für die Hunderte und Tausende von Menschen, welche täglich in weit von ihren Wohnungen entfernten Fabriketablissements zusammenkommen müssen, ist eine schnelle und billige Fahrgelegenheit absolut notwendig. Diese Gesichtspunkte gelten neben dem bisher nur immer für elektrischen Betrieb ausgebildeten Personenverkehr auch für den Güterverkehr, für den sich die Anfangsstadien in industriereichen Orten und Gegenden bereits vorfinden.

Die Dampfbahnen sind ihrer ganzen Natur nach für den noch heute üblichen Fernverkehr geeignet. Der Betrieb kann bei ihnen mit kleinen Zügen und kurzen Verkehrsintervallen niemals billig eingerichtet werden, also nicht in derjenigen Form, welche gerade im Lokalverkehr verlangt wird. Ausserdem ist es trotz angestrengtester Bemühungen nicht gelungen, einen Dampfwagen zu konstruieren, der in den belebten Strassen einer Stadt ohne Unzuträglichkeiten verkehren kann.

Auch die Pferdebahnen entsprechen nur in wenigen Fällen den durch den Verkehr an sie gestellten Anforderungen. Mit Pferdebetrieb können zwar einzelne Wagen in verhältnismässig kurzen Intervallen verkehren, aber die Geschwindigkeit der Pferdebahnen genügt selbst auf kürzeren Stadtstrecken dem Bedürfnis des Publikums nicht und noch weit weniger auf Vorstadt- oder Landstrassen. Ein grosser Mangel des Pferdebetriebes liegt ferner darin, dass man einen zeitweilig sehr stark auftretenden Verkehr nicht bewältigen kann, weil der Unterhalt der hierfür erforderlichen Reservepferde mit unverhältnismässig hohen Kosten verbunden ist.

Ein charakteristisches Bild für die äusserste Ausnutzung des Pferdes giebt eine Vorortslinie in Denver (Colorado). Die grösste Steigung beträgt hier $3^1/_2$ %. Das Pferd zieht den Wagen die Steigung hinauf und wird dann auf die hintere Plattform verladen. Auf der ganzen, im Gefälle liegenden Strecke wird nun durch die eigene Last von Wagen und Pferd die Betriebskraft geschaffen.

Die Linie ist ungefähr 1600 *m* lang.

Die Gesellschaft besitzt einen Wagen und fünf Pferde und bewältigt damit täglich 40 Doppelfahrten.

Das Pferd ist imstande, den Wagen mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 4 *km* in der Stunde die Steigung hinaufzuziehen. Bergab fährt der Wagen mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 25 *km* in der Stunde. Der motorische Betrieb weist darauf hin, dem Motor bei der Thalfahrt keine Arbeit zuzumuten, sondern ihm Ruhe bezw. Abkühlung zu gönnen.

Das Pferd wird, ebenso wie z. B. der Elektromotor stets bei dieser Art der Thalfahrtverladung in einen ausruhenden Zustand gebracht und ist so imstande, eine grössere Leistungsfähigkeit an den Tag zu legen, als wenn es das Gefälle leer mitlaufen müsste. Es ist diese Art der Arbeitsersparnis etwa mit der Thätigkeit des Radfahrers zu vergleichen, welcher dadurch, dass er nicht sein eigenes Körpergewicht zu tragen, sondern nur fortzubewegen braucht, rationeller arbeiten kann, als wenn er sich mittels seiner Beine direkt auf dem Erdboden fortbewegt. Der Radfahrer kann ebenso wie das Pferd bei der Thalfahrt vollständig ausruhen, um sich für neue Anstrengungen zu rüsten. Auch der Elektromotor benutzt die Thalfahrt, um sich abzukühlen. Gegenüber dem hier geschilderten Pferdebetriebe hat der Elektromotorenbetrieb im allgemeinen noch den Vorzug, dass bei jedem Anhalten der Motor eine Zeit lang unbelastet läuft und dadurch Gelegenheit hat, öfter zur Abkühlung zu kommen. Die Bauart der Denver-Linie ist für das Aufladen des Pferdes besonders günstig. Wenn z. B. im hügeligen Terrain die Bahntrace bald bergauf und bald bergab führt, würde ein Ab- und Aufladen des Pferdes nicht angängig sein; der Elektromotor thut dieses alles von selbst, und es ist diese Eigenschaft nicht zum wenigsten für ihn bahnbrechend geworden.

In dem elektrischen Betriebe finden sich die Vorzüge aller Beförderungsarten, aber ohne deren Nachteile, vereinigt. Mit den Dampfbahnen hat dieser Betrieb gemeinsam, dass man auf Aussenstrecken so schnell fahren kann, als die gesetzlichen Bestimmungen es zulassen, und dass man im Bedarfsfall die Leistungsfähigkeit der Bahn durch Einstellung einer grösseren Anzahl von Wagen ungemein zu erhöhen vermag; mit den Pferdebahnen aber die Möglichkeit, in kurzen Zwischenräumen mit einzelnen Wagen und ohne Belästigung der anderen Fuhrwerke und der Passanten zu verkehren.

Es ist daher nicht zu verwundern, dass in der verhältnismässig kurzen Zeit, welche seit der Einführung der elektrischen Bahnen verflossen ist, dieselben sich ausserordentlich schnell vermehrt haben.

2. Die ersten elektrischen Bahnen und Einteilung der neueren Bahnsysteme.

Die erste Probe einer elektrisch betriebenen Bahn war die auf der Berliner Gewerbe- und Industrie-Ausstellung im Jahre 1879 zur Schau gestellte und durch Fig. 1 dargestellte kleine Personenbahn, welche durch den Nestor der elektrischen Bahnen, Werner v. Siemens, beziehungsweise durch dessen Firma Siemens & Halske ausgeführt und betrieben wurde. Später erschien dieselbe Bahn auf den Ausstellungen in Düsseldorf, Frankfurt a. M., Breslau, Görlitz.

Dieser Bahn wurde der Strom durch die Fahrschienen und durch eine besondere, in der Mitte des Gleises etwas erhöht liegende dritte Zuleitungsschiene zugeführt. Dieselbe Stromzuführungseinrichtung erhielt die 1883 von Siemens & Cie. Limited London ausgeführte Portrush-Bahn in Irland. Im Jahre 1881 wurde die meterspurige Bahn in Lichterfelde vom Anhalter Bahnhof bis zur Kadettenanstalt auf den Gleisen der für den Bau der Kadettenanstalt als Ziegelbahn benutzten Strecke mit direkter Fahrschienenleitung angelegt und dem regelmässigen Personenverkehr übergeben. Seit jener Zeit hat diese Bahn die mannigfachsten Veränderungen durchgemacht und zeigt sowohl im Stromzuführungssystem, als auch in der Motorkonstruktion die Wandlungen der Zeit. Die Bahn und ihre ersten Wagen befinden sich noch heute im Betriebe, zur Zeit ist sie auch bedeutend erweitert worden. Seit 1890 ist diese Anlage mit oberirdischer Stromzuführung versehen.

Im Jahre 1883 wurde gelegentlich der internationalen elektrischen Ausstellung in Wien die Praterbahn ebenfalls mit reiner Fahrschienenzuleitung ausgeführt.

Im Jahre 1882 wurden von der Firma Siemens & Halske auf den Gleisen der starke Steigungen aufweisenden Pferdebahn von Charlottenburg nach dem Spandauer Bock, einem Vergnügungslokal an der Berlin-Spandauer Chaussee, Versuche mit elektrischem Betriebe angestellt, wobei eine doppelte, an Masten neben dem Gleise geführte Drahtleitung die Zuführung des Stromes vermittelte und die Stromabnahme durch einen achträderigen Kontaktwagen geschah. Am 22. Oktober des folgenden Jahres wurde die elektrische Strassenbahn von Mödling bei Wien nach Vorderbrühl, 1884 die von Sachsenhausen (Frankfurt a. M.) nach Offenbach und am 1. Mai 1885 die Verlängerung der Mödlinger Bahn nach Hinterbrühl eröffnet. Die Stromleitungsanlage bestand bei diesen letzten Bahnen aus zwei seitlich von der Bahn an Holzmasten befestigten, geschlitzten eisernen Röhren, innerhalb deren vier mit dem Wagen durch ein



Schiemann, Bahnen I. Fig. 1

Erste elektrische Bahn auf der Be
Ausgeführt von S



Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

rliner Gewerbe-Ausstellung 1879.
iemens & Halske.

Kabel verbundene elliptische Metallstücke, die durch eine Blattfeder an die Rohrwandungen gedrückt wurden, glitten.

Fast schien es, als ob das System, Bahnen mittels Elektrizität zu betreiben, wieder verschwinden wollte, denn trotz dieser vielversprechenden Versuche konnte der elektrische Betrieb von Strassenbahnen in Europa zu keiner rechten Entfaltung kommen. Bedeutend günstigeren Boden aber fand die elektrische Zugkraft in Nordamerika Die grosse Ausdehnung der Städte und Industriebezirke, der zumeist schlechte Zustand der Strassen, die Leichtigkeit der Beschaffung der erforderlichen Kapitalien und der Konzessionserlangung, sowie manche andere im Charakter der Amerikaner begründete Umstände, wie z. B. die Zurückdrängung ästhetischer Bedenken bei Befriedigung praktischer Bedürfnisse, förderten die rasche Einführung des neuen Verkehrsmittels, dessen Vorteile den bisherigen Betriebsarten gegenüber auf der Hand lagen. Nachdem im Jahre 1885 die erste elektrische Strassenbahn in Amerika zwischen Windsor und Baltimore eröffnet worden war, nahm dort die Entwickelung des elektrischen Betriebes einen so ausserordentlich schnellen Verlauf, dass nach einer Statistik des »Street Railway Journal« schon am Ende des Jahres 1891 6500 *km* oder etwa zwei Fünftel aller vorhandenen Strassenbahnen mit 8892 Wagen, Ende 1894 bereits 14413 *km* mit 22849 Wagen und im Sommer 1896 circa 20000 *km* Strassenbahnen elektrisch betrieben wurden.

Amerika gab also den erneuten Anstoss zur Weiterbildung, und in den neunziger Jahren können wir von einer steten Fortentwickelung elektrischer Bahnen aller Gattungen und insbesondere elektrisch betriebener Strassenbahnen sprechen.

Auf Grund der in Amerika gemachten Erfahrungen konnte man sich auch in Europa und speziell in Deutschland nicht länger den grossen Vorzügen des elektrischen Betriebes, unter denen insbesondere die leichte Überwindung grosser Steigungen, die Möglichkeit der Anwendung grösserer Geschwindigkeiten, das ruhigere und sicherere Fahren, das rasche Anfahren und Anhalten der Wagen, die Reinhaltung der Strassen, die bessere Anpassung an die wechselnden Bedürfnisse des Verkehrs und — nicht in letzter Linie — die geringeren Betriebskosten zu nennen sind, verschliessen. Im Jahre 1891 wurde die erste elektrische Strassenbahn mit Oberleitung nach dem System der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Halle a. S. eröffnet, und dieser folgten im nächsten Jahre die Strassenbahnen in Gera und Bremen. Seitdem hat der elektrische Bahnbau in Deutschland rasche Fortschritte gemacht, und wenn dieselben sich auch nicht mit denen in Amerika messen können, so herrschte doch seitdem auf diesem Gebiete eine ausserordentlich rege Thätigkeit.

Die Einteilung elektrischer Strassenbahnen ist nach Art ihrer Stromzuführung üblich geworden, da hierin die charakteristischen Unterschiede und Merkmale zu erblicken sind.

Elektrische Strassenbahnen werden zur Zeit nach drei Arten ausgeführt, nämlich als

1. Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung,
   a) mit Fahrschienenpol,
   b) ohne Fahrschienenpol.
2. Bahnen mit unterirdischer Stromzuführung,
   a) mit Schlitzkanal,
   b) mit geschlossenem Kanal.
3. Akkumulatorenbahnen,
   a) reiner Akkumulatorenbetrieb,
   b) Auflade-(Nachlade-)betrieb,
   c) gemischter Akkumulatorenbetrieb.

In dem vorliegenden I. Bande sollen nur die mit Gleichstrom betriebenen Kleinbahnen behandelt werden, während im II. Bande auch den Wechselstrombahnen ein, ihrer Ausdehnung entsprechender Raum gewidmet ist.

II.

Die Erzeugung des elektrischen Stromes.

Die Erzeugung von elektrischem Strom kann auf der Anwendung von Kohle, Gas, Wasser oder Wind basieren.

Die Kohle, als das am häufigsten angewandte Krafterzeugungsmittel der im Weltall schlummernden Naturkräfte, interessiert uns hier zuerst und am meisten.

Wir beginnen mit einer kurzen Übersicht über Dampfkessel- und Feuerungsanlagen.

1. Dampfkesselanlagen.

Die Dampfkessel finden Anwendung als Röhrendampfkessel, einmal, weil dieselben die billigsten sind und am wenigsten Platz einnehmen, und zum anderen Male, weil der Dampfbedarf bei kleineren Anlagen elektrischer Bahnen ein sehr wechselnder ist. Röhrenkessel mit grosser Heizfläche und geringem Wasserraum können einem plötzlichen Dampfmehrverbrauch am besten entsprechen. Die Wartung der Schnellfeuerung muss freilich eine um so sorgfältigere sein, da öfter nachgelegt und kontrolliert werden muss, als bei Grosswasserraumkesseln.

Zudem ist die gute Eigenschaft der Wasserröhrenkessel, schnell Dampf zu geben, auch von grossem Vorteil für die Verwendung des Kesselheizerpersonals, da das Anfeuern kaum eine Stunde vor Inbetriebsetzung der Dampfmaschinen zu geschehen braucht, während dies bei Grosswasserraumkesseln nicht in solch kurzer Zeit möglich ist, mithin das Personal entweder vermehrt oder mehr angestrengt werden muss.

Bei grossen Anlagen und besonders solchen, welche einen mindestens 20stündigen Betrieb am Tage zu versorgen haben, findet der Grosswasserraumkessel für hohen Druck genügende Ausnutzung und zweckentsprechende Anwendung. Er hat in diesem besonderen Falle sogar den grossen Vorzug, allen Betriebsschwankungen vermöge

seines grossen Dampf- und Wasserraumes leicht folgen zu können, ohne darum stärker feuern zu müssen.

Bei Bestimmung der Kesselart ist die Grösse der Anlage massgebend, und es kann von vornherein nicht behauptet werden, nur die eine oder andere Kesselart sei anzuwenden oder immer zu bevorzugen.

Die Kessel müssen bei normaler Beanspruchung für die günstigste Ausnutzung der Kohlen berücksichtigt werden; ein 50 % stärkerer Dampfverbrauch muss von den Kesseln hergegeben werden, ohne dass deren Konstruktion auf die Dauer beeinträchtigt wird. Ist dies mit einer gegebenen Kesselsorte nicht zu erreichen, so stellt man einen Kessel mehr auf, oder, was noch besser ist, man hält die gewöhnliche spezifische Dampferzeugungsbeanspruchung unter der normalen Höhe. Im Falle eines zeitweisen Dampfmehrverbrauches ist es immer richtiger, einen unter Feuer stehenden Kessel zu »forcieren« (spezifisch höher zu beanspruchen), als einen kalten Kessel anzufeuern und nach Gebrauch wieder abzustellen, da die durch die Temperaturschwankungen hervorgerufenen Materialbewegungen schädlicher einwirken als überangestrengter Betrieb.

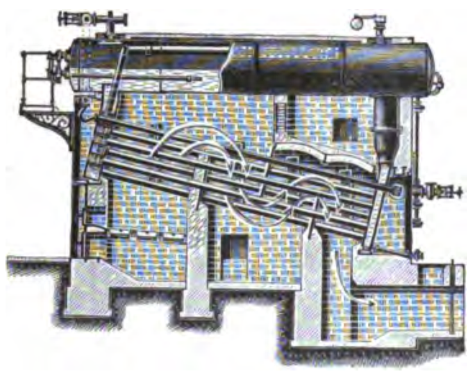


Fig. 2.

Um je eine der neueren Dampfkesseltypen herauszugreifen, sei hier in Fig. 2 der Gehre'sche Röhrenkessel und in Fig. 3 ein Pauksch'scher Flammrohrkessel aufgeführt.

Der Gehre'sche Röhrenkessel besitzt für jede Rohrreihe gesonderte Dampfabführungsrohre in die jedesmal darüber befindlichen Dampfräume, sodass auf eine Wassercirkulation verzichtet werden kann und trotzdem der erzeugte Dampf schnell abgeführt wird. Die wasserberührte Heizfläche wird gegenüber der dampfberührten denkbar gross und ermöglicht dadurch eine hohe Leistungsfähigkeit des Kessels.

Der Pauksch'sche Grosswasserraumkessel in Fig. 3 giebt ein anschauliches Bild über die für hohen Kesseldruck nötigen Konstruktionen. Das aus eigenartig geformten Schüssen hergestellte Feuerrohr hat sich seit vielen Jahren gut bewährt. Die wasserberührte Heizfläche ist die denkbar grösste, die Ausnutzung der Feuergase eine gute. Das Raumerfordernis dieses Kessels ist jedoch so gross, dass die betreffende Firma zu Kombinationen mit Siederohroberkesseln gegriffen hat, um annähernd mit Wasserrohrkesseln

in Wettbewerb treten zu können, wenn nur beschränkter Raum zur Verfügung steht.

2. Feuerungsanlagen.

Das Bedürfnis der vollkommenen **Rauchverbrennung** ist natürlich, wie bei allen neueren Dampfkesselanlagen, auch hier und um so mehr vorhanden, als die Kraftstation wohl meistens in bewohnten Gegenden angelegt werden muss, um im Schwerpunkt des Bahnverkehrs ihre günstigste Wirkung zu finden.

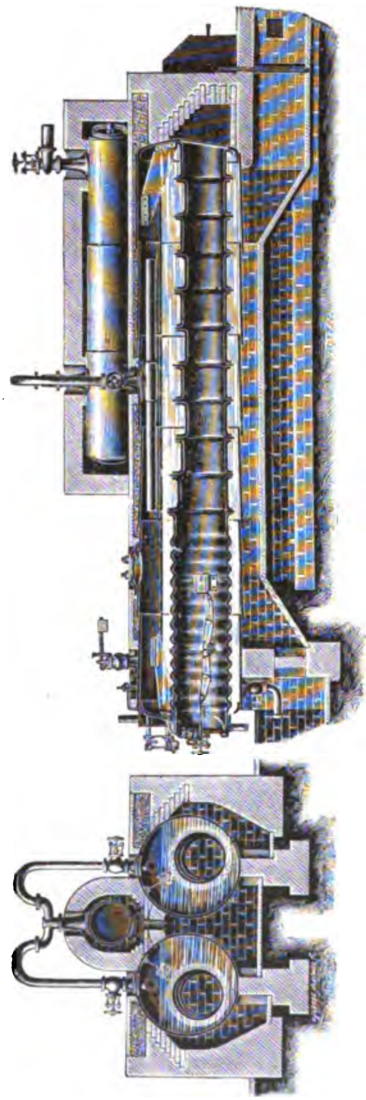


Fig. 3.

Die günstigste Ausnutzung der Kesselanlage wird naturgemäss dann erfolgen können, wenn der Betrieb andauernd vor sich geht. Bei entsprechend gross gewählter Anlage, d. h. wenn die spezifische Beanspruchung für das Quadratmeter Heizfläche die Normalleistung im Durchschnitt nicht übersteigt, empfiehlt es sich, die Zuführung des Brennmaterials automatisch zu bewirken. Die charakteristische Vorrichtung einer **Kohlenförderung** im Kesselhause ist in Fig. 4 dargestellt.

Hier fällt die Kohle aus dem Transportwagen in einen grossen Trichter, der sich allmählich in die an seiner unteren Öffnung vorbeigeführten Behälter des Paternosterwerkes entleert. Der Reihe nach wird alsdann der Inhalt der Kohlenkästchen in die Kohlentrichter des Kessels ausgekippt, was durch entsprechenden Anschlag erfolgt. Auf die gleiche Art werden die Aschenfälle entleert und bis zum Transport auf der Kohlen- bezw. **Aschenbahn** gebracht.

Die Folge automatischer Kohlenzuführung ist auch die automatische Beschickung des Rostes mit Brennmaterial. Hierfür sind die verschiedensten Konstruktionen in Anwendung gebracht worden, welche

grundsätzlich darin übereinstimmen, beständig eine gewisse Menge Kohlen aus dem Feuerthürtrichter zu entnehmen und sie dem Feuer zuzuführen. Derjenigen Vorrichtung gebührt wie immer der Vorzug, welche die einfachsten Bewegungsmechanismen enthält. Die einfache, durch ein Gegengewicht ausbalancierte senkrechte Fallthür hat sich überall besser bewährt, als hin- und hergehende Kolben oder sich drehende Kammräder.

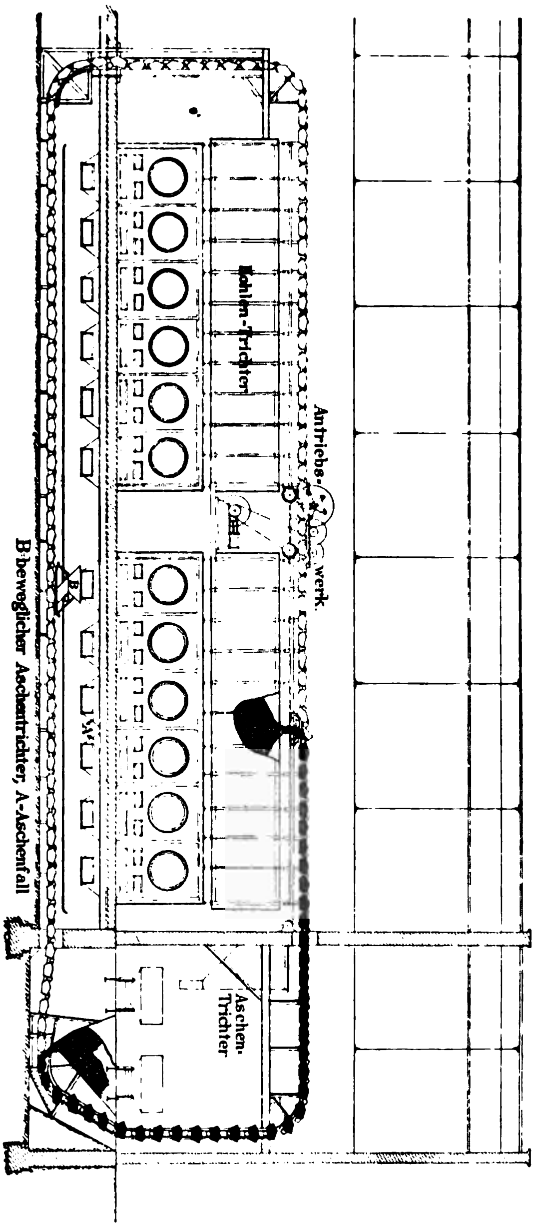


Fig. 4.
B-beweglicher Aschentrichter, A-Aschenfall

Die Schornsteine führt man stets in Mauerwerk aus, wenn nicht eine Lokomobilanlage für die Stromerzeugerstation benutzt wird.

An Stelle eines für eine 750 PS-Maschine nötigen Ziegelschornsteins hat man in Amerika auch einen niedrigen Blechschornstein mit künstlichem Zug angewendet, wie derselbe in Fig. 5 dargestellt ist.



Fig. 5.

Die Lager des im Feuerzug liegenden Ventilators dürften indes für diese Anordnung zu Bedenken Veranlassung geben. Jedenfalls zeigt diese Ausführung, dass man sich irgendwelchen örtlichen Bestimmungen gegenüber zu helfen verstanden hat.

3. Dampfmaschinen.

Die Dampfmaschinen sind zumeist einfache Verbundmaschinen. Dreifach-Expansionsmaschinen haben sich nicht bewährt, weil ihre Reguliervorrichtungen den oft von Null bis zum Maximum steigenden Beanspruchungen plötzlich zu folgen ausser stande sind. Es ist eine der Hauptbedingungen für diese Dampfmaschinen, dass sie bei Änderung der Maschinenbelastung schnell ohne langandauernde Schwankungen auf gleiche Umdrehungszahl regulieren, ohne dabei zu springen, was durch schnelllaufende Regulatoren, leicht beeinflusste Steuerungen und wirksame Schwungräder erreicht werden kann. Der Gleichförmigkeitsgrad in der Winkelgeschwindigkeit zwischen Vollbelastung der Maschine und Leerlauf soll niemals 5 % übersteigen und muss bei Riemenantrieb mit schneller laufenden Stromerzeugern bis zu 2 % herabsinken. Es ist vielfach die Ansicht verbreitet, dass die Dampfmaschinen für Bahnbetrieb einer weniger feinen Regulierung bedürfen, als diejenigen für elektrischen Lichtbetrieb. Wenn man obige Forderungen betreffs der Gleichförmigkeit anerkennt, und diese Forderung entspricht dem praktischen Bedürfnis, so dürfte damit wohl zur genüge die Gleichberechtigung der Regulierbarkeit hervorgehoben sein.

Von der Umdrehungszahl ist abhängig die Spannung der Stromerzeuger, von der Spannung dieser die Geschwindigkeit der getriebenen Wagen. Wenn z. B. bei der Maximalbeanspruchung, d. h. wenn sämtliche Wagen auf der Strecke anfahren, die Umdrehungszahl der Dampfmaschine und mit dieser die Spannung in der Dynamomaschine und in der Stromleitung erheblich sinken würde, dann kämen Unregelmässigkeiten im Betriebe vor.

Zur Beurteilung der Grösse und des günstigsten Ausnutzungsfaktors von Maschinenaggregaten ist es üblich geworden, den Verkehr der Bahnen in den verschiedenen Perioden zu beobachten. Es unterscheiden sich hierbei gewöhnliche Wochentage, Sonntage, Sommerfesttage, Volksfeste, Ausstellungen, Markttage u. s. w. Kennt man zu diesen verschiedenen Zeiten die Verkehrsintervalle bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Wagen, kennt man anderseits das Gewicht der Wagen und deren Fassungsraum an Personen, welcher für durchschnittliche Berechnungen an gewöhnlichen Tagen mit $^1/_3$ Besetzung, an verkehrsreichen Sonntagen dagegen mit $^1/_2$ einzusetzen ist, so kommt man auf ein durchschnittliches Gewicht besetzter

und bewegter Wagen. Rechnet man für eine Tonne bewegten Wagengewichtes eine Durchschnittsgrösse von z. B. 0,5 Kilowatt, so findet man unter Zuschlag der Arbeitsverluste in den Zuleitungen, welche man im Mittel mit 5 % annehmen kann, die Kilowattleistung an den Dynamomaschinen der Station. Die Gesamtleistung für die verschiedenen Tage und Jahresperioden muss ein Bild ergeben, in welchem die Abstufungen für die Gesamtarbeit ersichtlich sind. Ein willkürliches Beispiel soll das Gesagte erläutern.

Es werden bei einer Bahn gebraucht:

an Wochentagen . . . . 400 Kilowatt
» Sonntagen . . . . 650 »
» Sommerfesttagen, Volksfesttagen u. s. w. . 800 »
Höchster Arbeitsverbrauch während weniger Tagesstunden . . . . 900 »

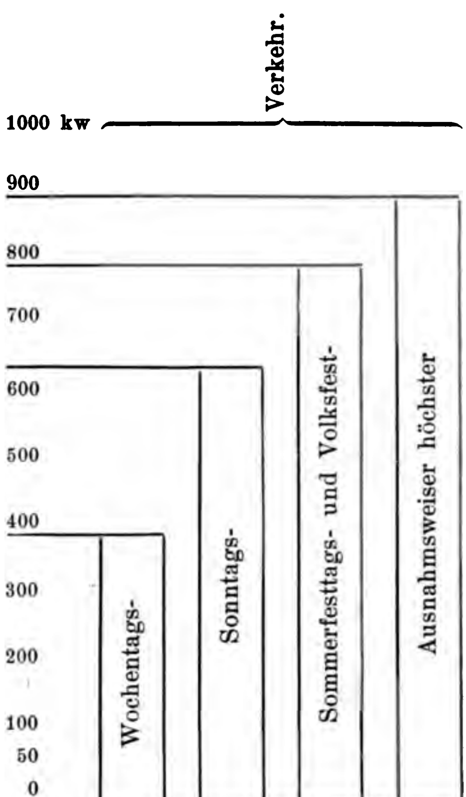


Fig. 6.

Trägt man sich diese Leistungen graphisch auf, wie es die Fig. 6 zeigt, so ersieht man, dass es rationell ist, entweder sechs Betriebsmaschinen von je 150 Kilowatt oder vier Betriebsmaschinen von je 220 Kilowatt Leistung oder zwei Betriebsmaschinen von je 450 Kilowatt Leistung aufzustellen, sodass man in der Lage ist, mit der wirtschaftlichsten Maschinenausnutzung den grossen Betriebsschwankungen zu folgen, d. h. dass man die stationären Maschinen stets bei normaler Leistung mit günstigstem Dampffüllungsgrad arbeiten lassen kann. Dass dies jedoch nicht ganz so erfolgen kann, wie man es gern möchte, liegt klar auf der Hand; es berechtigt dies aber nicht dazu, solche Betrachtung ausser acht zu lassen. Hierzu kommt, dass man stets ein Maschinenaggregat in Reserve halten muss, weil es in derartigen Betrieben unvermeidlich ist, dass

Beschädigungen von Maschinen vorkommen, auch wenn der regelmässige Verkehr keine unerwarteten Überanstrengungen mit sich bringt. Es werden Erneuerungsarbeiten, Veränderungen an Maschinen u. dergl. nötig, und da man sich als wichtigsten Grundsatz eines Bahnbetriebes immer Pünktlichkeit und Ordnung vor Augen halten muss, ist eine Anlage ohne Reservemaschine eine fehlerhafte. Für den gewöhnlichen Verkehr soll eine derartige Reserve nicht in Anspruch genommen werden. Darum ist es nötig, dass man für die Grösse der Maschinen ganz bestimmte Voraussetzungen macht, die es ermöglichen, von der normalen Leistung zur maximalen überzugehen, ohne dass Betriebsstörungen an diesen Betriebsmaschinen zu befürchten sein dürfen. Jeder Maschine und jedem Kessel muss auf längere Zeit (bis zu zwei Stunden) eine um 50 % höhere Leistung zugemutet werden können, ohne dass sich irgend welche üble Folgen für die Zeit des ununterbrochenen Betriebes sowie des ganzen Betriebes überhaupt zeigen dürfen; es wäre aber falsch, wollte man die maximale Beanspruchung der stationären Maschinen dem normalen und voraussichtlichen Verkehrsplane zu Grunde legen.

Die Dampfmaschinen sollen für die normale Leistung, welche sich aus obiger Zusammensetzung ergiebt, nur mit ihrem wirtschaftlich günstigsten Füllungsgrade bei normaler Umdrehungszahl und bestimmter Eintrittsdampfspannung arbeiten und bei dieser Arbeitsleistung während der ganzen Betriebszeit, d. h. also eventuell bei Tag- und Nachtverkehr, 24 Stunden hintereinander keine höhere Temperatur am Lager als 40° C. über der Umgebung aufweisen. Dass derartige Leistungen von anderen Betriebsmaschinen verlangt und erfüllt werden, zeigen Schiffsmaschinen, Fördermaschinen u. dergl. Die durch höhere Dampffüllungsgrade zu erreichende Mehrarbeit soll bei stationären Maschinen nur auf die äusserst kurze Zeit, bis zu zwei Stunden hintereinander, bemessen werden, und selbst bei augenblicklichen Beanspruchungen, die 50 % der normalen Leistung überschreiten, dürfen die Lager der Dampfmaschinen niemals mehr als handwarm werden und die Dynamomaschine niemals eine grössere Temperaturerhöhung als 50° C. über ihre Umgebungstemperatur erreichen. Nach derartig erhöhter Leistung der Maschine muss bei abfallendem Verkehr auf der Bahnstrecke die Erwärmung von selbst auf dasjenige Mass zurückgehen, welches von den normal arbeitenden Maschinen zu verlangen ist. Mit dieser Beanspruchung der Maschinen wird es immer möglich bleiben, einen Bahnbetrieb voll aufrecht zu erhalten, ohne jemals der Betriebsschwankungen wegen die Reservemaschine arbeiten zu lassen.

Der Leerlauf der Dampfmaschine soll 10 % der Normalleistung niemals überschreiten.

Es ist bekannt, dass die von einer Dampfmaschine für die effektive PS-Stunde verbrauchte Dampfmenge um so grösser ist, je kleiner die Belastung; weniger bekannt dürfte es sein, dass der Dampfverbrauch einem ziemlich einfachen Gesetz folgt und daher mit einer für die Praxis genügenden Annäherung für jede Belastung vorher berechnet werden kann. Dieses Gesetz ist von dem berühmten, verstorbenen Ingenieur Peter Willans, dem Erfinder der Maschine gleichen Namens, auf Grund seiner klassischen Versuche mit Dampfmaschinen, aufgestellt worden, und möge hier kurz erläutert werden. Willans fand, dass der Dampfverbrauch für jede Belastung ausgedrückt werden kann als die Summe von einem konstanten Glied und dem Produkt einer Konstanten und der Leistung. Mit anderen Worten, der Dampfverbrauch ist eine lineare Funktion der Leistung. Das konstante Glied ist der Dampfverbrauch bei Leerlauf. Kennt man also diesen und den Dampfverbrauch bei Vollbelastung, so kann man den Dampfverbrauch für jede zwischenliegende Leistung berechnen. Wie schon erwähnt, ist dieses Gesetz nicht streng richtig; namentlich nicht für Überlastung, weil dabei bekanntlich der Dampfverbrauch für die PS-Stunde grösser ist, als bei normaler Vollbelastung. Die Abweichungen von der Wahrheit sind aber nicht bedeutend.

Es ist interessant, das Willans'sche Gesetz an einem praktischen Beispiele zu prüfen. Dazu mögen die Angaben dienen, welche Böhm in der »Deutschen Zeitschrift für Elektrotechnik« über eine 17 *km* lange Strassenbahn veröffentlicht hat. Zum Betriebe dienen drei Dampfmaschinen von 160 PS, deren Dampfverbrauch bei Vollbelastung 9 *kg* für die PS-Stunde ist. Bei $^3/_4$-Leistung ist er 10, bei $^1/_2$-Leistung 12 und bei $^1/_4$-Leistung 16 *kg*. Wenn man auf diese Zahlen das Gesetz von Willans anwendet, so findet man, dass die Konstante 2,34 ist und der Dampfverbrauch für die oben angegebenen Leistungen 9,85, 11,3 und 16 *kg* beträgt. Diese Zahlen weichen von den durch Versuche ermittelten Zahlen nur wenig ab. In der beschriebenen Anlage ist die Tagesausnutzung der Dampfmaschine nur 44 % ihrer möglichen Tagesleistung. Wenn nun die Maschine dauernd mit 44 % ihrer Vollbelastung arbeiten würde, so wäre ein Dampfverbrauch von rund 12 *kg* für die PS-Stunde zu erwarten. In Wirklichkeit ist aber die Belastung nicht konstant, und die Perioden sehr geringer Belastung steigern den durchschnittlichen Dampfverbrauch ganz enorm. Er beträgt thatsächlich nicht 12, sondern 21,3 *kg* für die PS-Stunde. Aus diesen Zahlen ersieht man, welche Ersparnis man bei kleinen und spärlich betriebenen

Bahnen durch Anwendung einer Pufferbatterie erzielen kann. Um aber diese Ersparnis wirklich zu erzielen, muss man den Mut haben, die Dampfmaschinen so klein zu bemessen, dass sie auch wirklich vollbelastet laufen können, und muss man die Batterie derartig wählen, dass sie ausgleichend wirkt. (Vergl. Kap. II, 10.)

Fast wichtiger als der spezifische Dampfverbrauch ist ein sparsamer Verbrauch an Öl- und Schmiermaterial, da eine Maschine bei geringer Schmierung und niedriger Erwärmungstemperatur an den Lagern stets einen leichten Gang und sparsamen Dampfverbrauch haben wird, natürlich unter der Voraussetzung einer modernen, guten Bauart der Maschine.

Über die Bauart von Dampfmaschinen sind besondere Vorschriften nebensächlicher Natur, da heutzutage jede gute Dampfmaschinenfabrik schnell regulierende und vor allem stabile Maschinen baut und es dabei gleichgiltig ist, ob die Maschine stehend oder liegend angeordnet ist, und die Cylinder übereinander, hintereinander oder nebeneinander liegen, ob die Steuerungen nach dieser oder jener Konstruktion durchgeführt sind. Sofern die Erwärmungen der Maschine in den vorgezeichneten Grenzen sich bewegen, wird keine Bauart irgend einen Vorzug geniessen. Ob sich jedoch alle Maschinengattungen hierzu eignen, kann eigentlich jedesmal nur die Praxis lehren. Es stehen praktische Beobachtungen zu Gebote, wonach es empfehlenswert ist, Maschinenaggregate in Grösse von 150—800 PS zu verwenden. Die Umdrehungszahl dieser Maschinen bewegt sich zwischen 180 und 90 in der Minute. Maschinen mit direkter Kondensation sind nicht immer empfehlenswert, da die angegebenen Umläufe für Luftpumpen zu hoch sind; vielmehr empfiehlt es sich, Bahnmaschinen an Centralkondensation anzuschliessen, und da in den seltensten Fällen billiges Wasser in der Nähe von Bahnstationen vorhanden ist, wird man auf Kondensationswasser-Rückkühlanlagen zurückgreifen müssen.

Wenn die Kraftstation räumlich sehr beschränkt ist, so wird man mit Vorteil stehende Dampfmaschinen, nach Art der Schiffsmaschinen anwenden, da diese äusserst wenig Platz beanspruchen.

Liegende Verbundmaschinen sind sowohl in Tandem-Anordnung, als auch in Nebeneinanderlage der Cylinder in Anwendung gekommen.

Eine liegende Dampfmaschine für Bahnbetrieb, wie dieselbe z. B. im Dresdener Kraftwerk, in der Nürnberger Bahncentrale, typisch geworden ist, wird in Fig. 7 dargestellt.

Die Görlitzer Maschinenbauanstalt, welche mehrere Bahn-Kraftstationen (Halle, Essen, Breslau, Gera u. s. w.) mit ihren Typen ausgerüstet hat, bevorzugt eine Anordnung, bei der die Hochdruckcylinder liegend, der Niederdruckcylinder stehend montiert sind. Beide Pleuelstangen greifen an ein und derselben Kurbel an. Fig. 8 zeigt eine derartige Maschine.

Aus Gründen der Einfachheit und Betriebssicherheit wählt man in Amerika selbst auch bei 600 PS Kraftbedarf Eincylindermaschinen.[1]) Man verzichtet hierbei auf den bei uns üblich gewordenen Dampf-

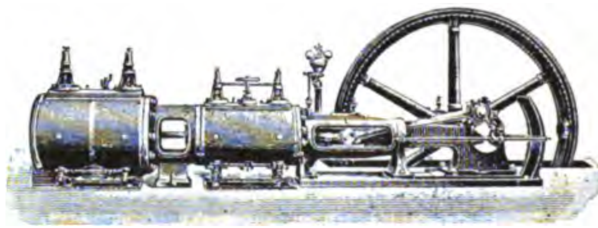


Fig. 7.

ausnutzungsvorteil einer Verbundmaschine und dies scheinbar auf Kosten des Betriebes. Nach unseren bisherigen Gepflogenheiten

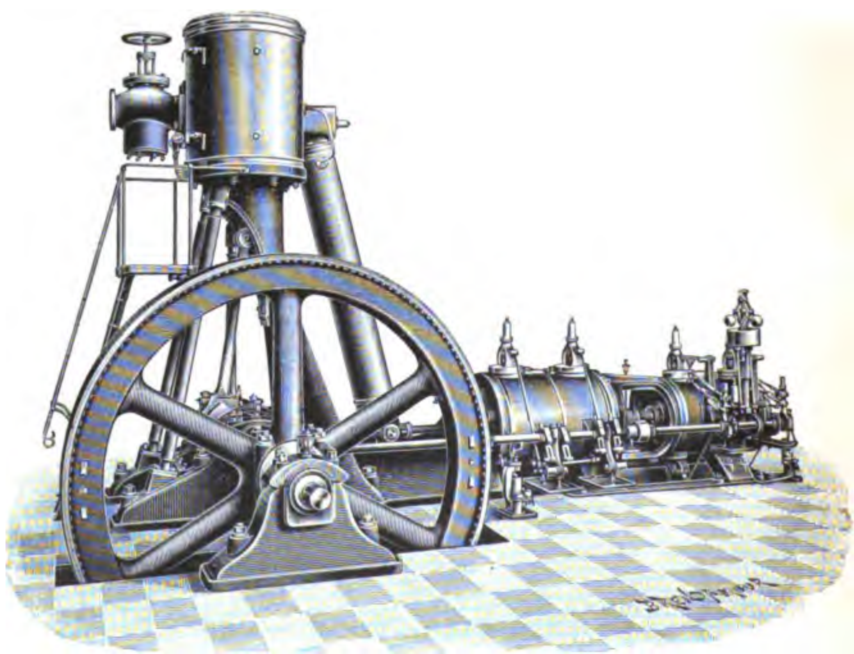


Fig. 8.

müssten wir diese Ansicht verwerfen, dieselbe sogar als einen Missgriff bezeichnen, welcher vielleicht von der amerikanischen Schablonen-

---

[1]) Eine derartige Maschine befindet sich in der Zeitschr. d. V. d. Ing. in No. 41, S. 1183 des Jahrganges 1896 näher beschrieben und durch Zeichnung erläutert.

arbeit herrührt. Immerhin aber giebt die Thatsache zu Bedenken Anlass und vielleicht ist die Zeit nicht mehr fern, wo auch wir von den komplizierten Dampfmaschinen abkommen und nach dem einfachsten Modell greifen, das in der Anschaffung und in den Reparaturkosten billiger ist. Ein Beispiel hierfür ist die de Laval'sche Dampfturbine, welche das Ideal der Einfachheit ist und nur noch mit dem Mangel allzu hoher Umdrehungszahl und hohen Dampfverbrauches behaftet ist, im übrigen sich jedoch auch zum Betriebe von Bahnanlagen eignet. Bei Anwendung von Kondensation soll der Dampfverbrauch erträglich sein.

4. Kondensations- und Kühlanlagen.

Um Rückkühlanlagen mit Kondensation zu vereinigen, hat man Einspritzkondensation durch ein, von besonderer Dampfmaschine oder Elektromotor angetriebenes, Pumpwerk an sämtliche Abdampf-

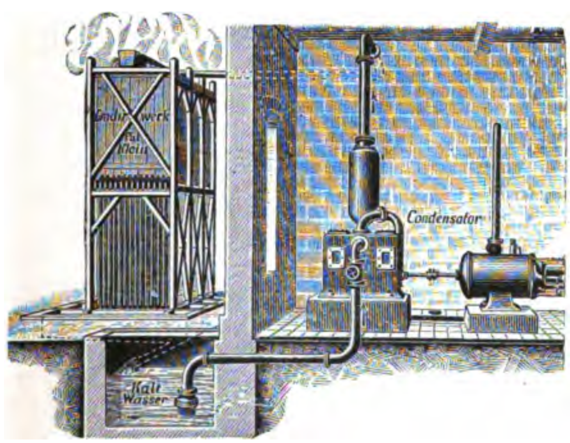


Fig. 9.

rohre der Maschine gelegt, welches zugleich das Kondensat auf eine Kühlvorrichtung (Gradierwerk, Kühlturm, Streudüsen) pumpt. Die Kühlung erfolgt durch die Verdunstungskälte, welche entsteht, wenn ein Luftstrom einem fein verteilten Wasserstrom entgegengeführt wird. Der Luftstrom kann dabei mittels natürlichen Zuges durch einen entsprechenden senkrechten Schlot oder durch ein Ventilatorgebläse bewegt werden. In den meisten Fällen vereinigt man beides, weil die Wirtschaftlichkeit der Anlage einerseits dem Bau des notwendigerweise sehr hohen Schlotes und anderseits der Arbeitsleistung der Pumpe zum Hochdrücken des Kondensates ihre engen Grenzen zieht. Eine Einspritzkondensations- und Gradierwerkskühlanlage ist

durch Fig. 9 dargestellt. Fig. 10 zeigt einen Kühlturm mit künstlichem Zug, wie solcher von der Firma **Klein, Schanzlin & Becker** in **Frankenthal** vielfach zur Ausführung gelangte.

Das Wasser wird durch die Nassluftpumpe des Kondensators oder durch eine besondere Pumpe auf das Gradierwerk gehoben, läuft durch Röhren auf die Kühlwände und fällt an diesen langsam nieder; durch die Berührung mit der Luft wird es dabei gekühlt. Ein Zusatz von frischem Wasser ist nicht erforderlich, da das durch Verdunstung im Gradierwerk verloren gehende Wasser durch den kondensierten Dampf ersetzt wird.

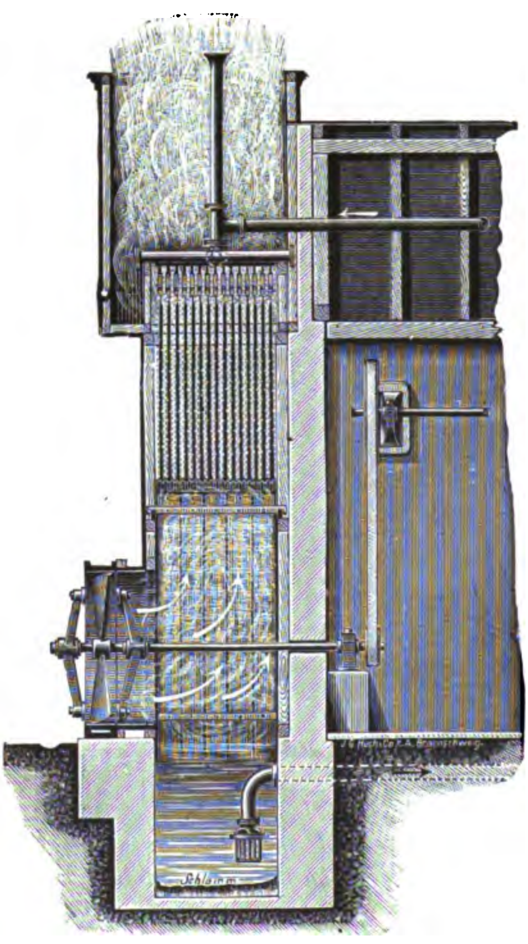
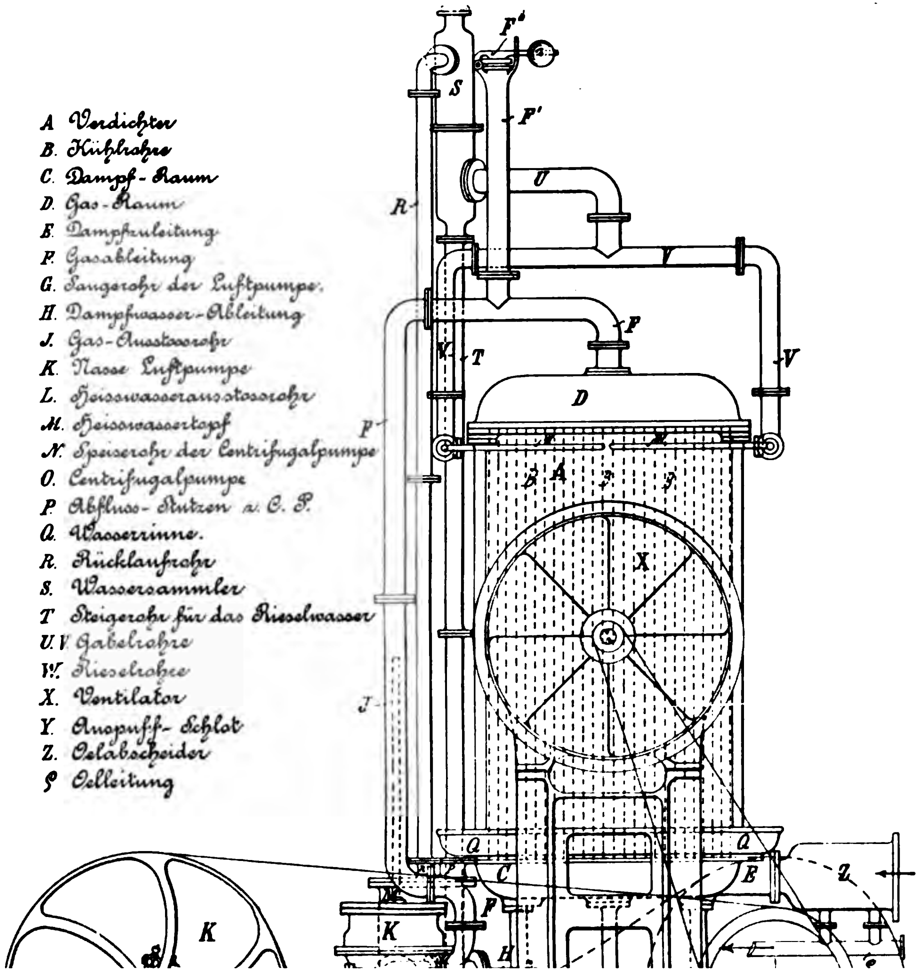
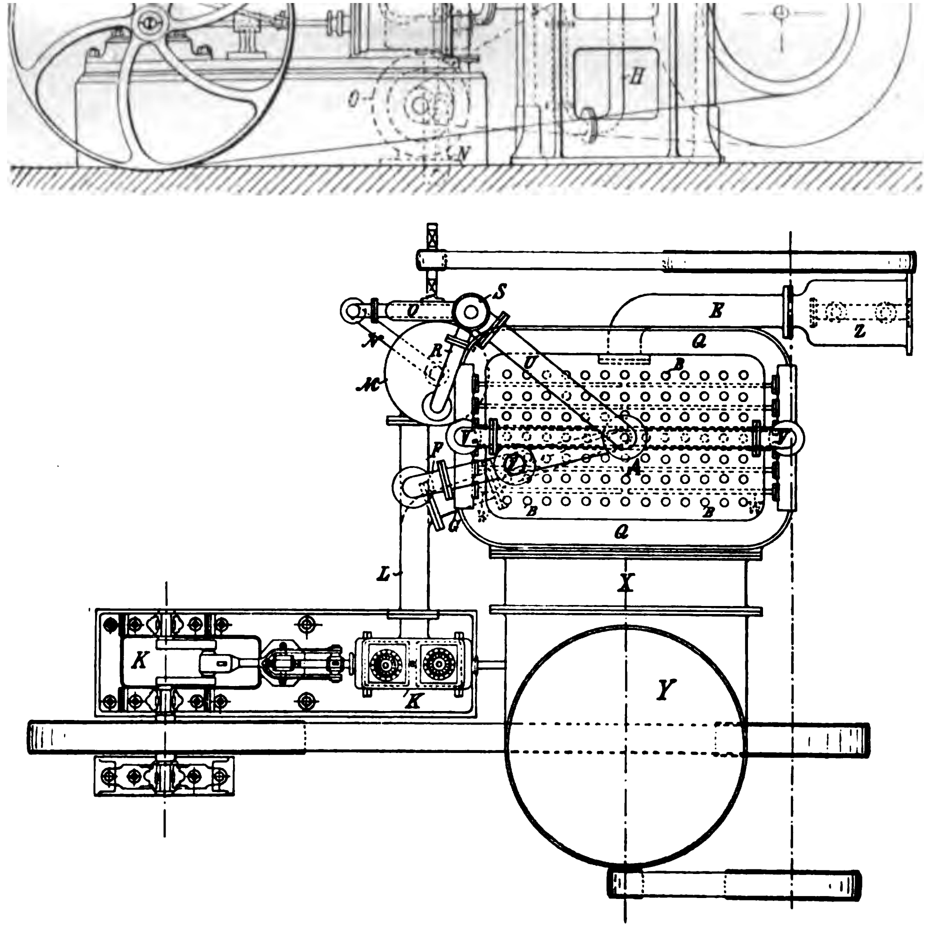


Fig. 10.

Muss man mit teurem Wasser für Kesselspeisung und Kühlung rechnen, so empfiehlt sich die im Bau zwar nicht so wohlfeile, aber für den Betrieb und für die Erhaltung der Kessel ungleich günstigere Anwendung einer Oberflächenkondensation mit gleichzeitig um den Kondensator angeordnetem Verdunstungskühler, wie solche neuerdings bei einigen Bahnkraftwerken mit gutem, praktischem Erfolge aufgestellt worden sind. Um von dem Kondensat (destilliertem Wasser) die Ölbestandteile zu entfernen, muss noch eine Ölabscheidevorrichtung vorgesehen werden. Eventuell kann noch durch eine Wasserreinigungsanlage das durch die Undichtheiten des Dampfrohrsystems notwendige Frischwasser auf billigste Art ersetzt werden.


A Verdichter
B. Kühlrohre
C. Dampf-Raum
D. Gas-Raum
E. Dampfzuleitung
F. Gasableitung
G. Saugerohr der Luftpumpe.
H. Dampfwasser-Ableitung
J. Gas-Ausstossrohr
K. Nasse Luftpumpe
L. Heisswasserausstossrohr
M. Heisswassertopf
N. Speiserohr der Centrifugalpumpe
O. Centrifugalpumpe
P. Abfluss-Stutzen a. C. P.
Q. Wasserrinne.
R. Rücklaufrohr
S. Wassersammler
T. Steigerohr für das Rieselwasser
U.V. Gabelrohre
W. Rieselrohre
X. Ventilator
Y. Auspuff-Schlot
Z. Oelabscheider
ℊ Oelleitung
S
F'
F'
U
V
V
F
V
T
D
R
F'
A
X
J
Q
Q
C
E
Z
K
K
F
H



Schiemann, Bahnen I. Fig. 11. Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

In Fig. 11 und 12 ist ein nach Schwager'schem System bei mehreren Bahncentralen (Essen, Wiesbaden) in Anwendung gebrachter Oberflächenkondensator mit Röhrenkühler dargestellt. Man kann sich dessen Wirkung als eine Umkehrung des Vorganges beim Wasserrohrkessel denken. An die Stelle des Feuers tritt hier das verdunstende Kühlwasser. In den Röhren wird dort das Wasser in Dampfform übergeführt, und hier der Dampf in Wasser.

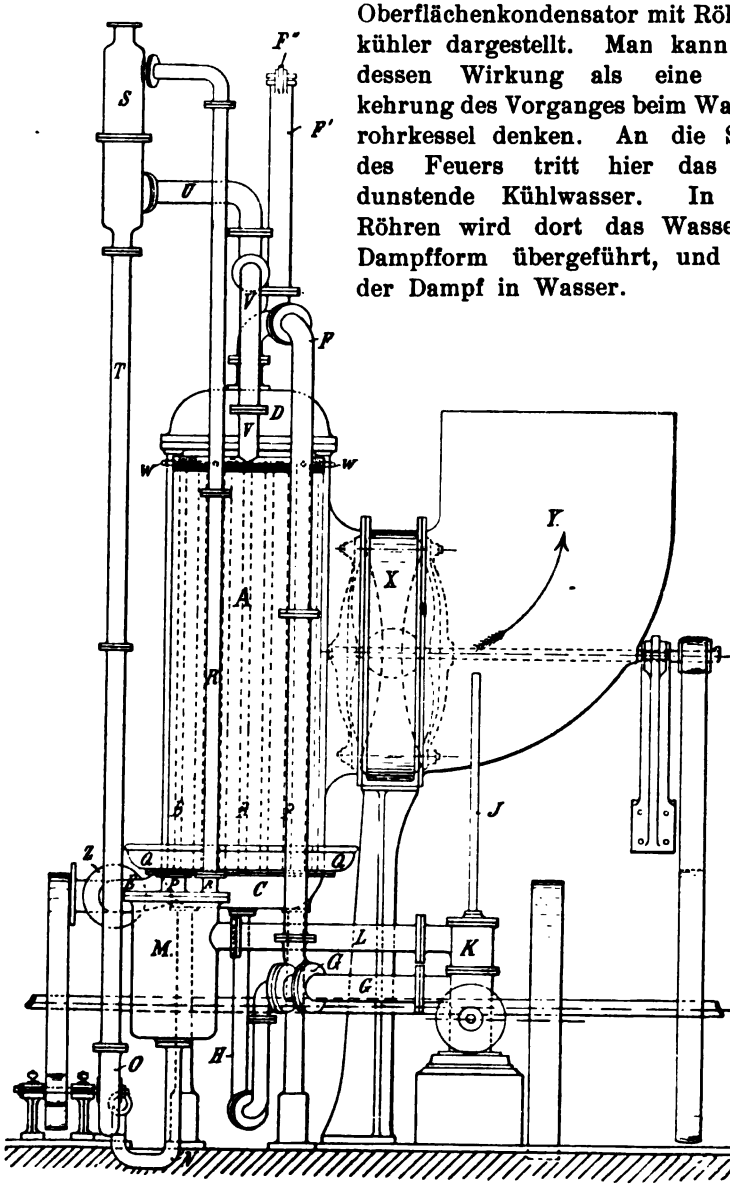


Fig. 12.

5. Gasmaschinen und Kraftgasanlagen.

Für den Betrieb eines Bahnkraftwerkes sind neuerdings in grossem Umfange auch Kraftgasanlagen und Gasmaschinen bezw. Gasdynamos zur Verwendung gekommen.

Man rühmt bekanntlich den Verbrennungs-Kraftmaschinen eine weit bessere Ausnutzung des Brennstoffes, als bei Dampfbetrieb möglich, nach, welche Erkenntnis der Verbesserungsthätigkeit in den letzten Jahren zuzuschreiben ist. Die Fabrikation der Gasmaschinen hat eine derartige Vollkommenheit erreicht, dass heute die Gasmaschine voll und ganz mit der Dampfmaschine in Konkurrenz treten kann. Vornehmlich kann dieses bei den kleineren Anlagen erfolgen. Während bei Dampfmaschinen kleinerer Typen der Nutzeffekt erheblich sinkt, behält die Gasmaschine unter der Voraussetzung ihrer normalen Leistung bis in die kleinsten hier in Betracht kommenden Typen den Nutzeffekt nahezu gleich hoch.

Ein weiterer Grund, welcher für die Anwendung von Gasmaschinen in Bahnkraftwerken spricht, ist die vollständige Vermeidung von Rauch und Russ; denn entweder kann die Gasmaschine durch Leuchtgas betrieben werden, oder sie erhält Kraftgas aus besonderer Generatoranlage. Beide Ausführungsarten sind bereits erprobt. Der Umstand, dass die Gasmaschine überall aufgestellt werden kann, sichert ihr auch weiter für die Zukunft eine grosse Verwendbarkeit im Strassenbahn-Betrieb.

Ein bemerkenswerter Vorteil ist die Möglichkeit sofortiger Inbetriebsetzung der Maschine, wenn in Behältern angesammeltes Leuchtgas bezw. Kraftgas zur Verfügung steht. Eine Kraftgasgeneratoranlage heizt sich auch sehr schnell an. Schliesslich ist noch die Raumersparnis gegenüber der Dampfanlage zu erwähnen, und steht in dieser Beziehung die Gasmaschine nur mit der stationären Lokomobile in Wettbewerb.

Sofern der Betrieb der Gasmaschinen mit Kraftgas (Generatorgas) erfolgt, ist es nötig, für die Herstellung dieses Betriebsmittels eine Gaserzeugungsanlage zu errichten, ähnlich wie bei einer Dampfmaschine ein Dampfkessel vorhanden sein muss. In dieser sogen. Kraftgasanlage wird das Kraftgas aus Koks oder Anthracit gewonnen und direkt in der Maschine verbrannt. Ebenso wie bei den Dampfmaschinen muss beim Kraftgasbetrieb eine vorherige örtliche Erzeugung des Betriebsmittels der Inbetriebsetzung vorausgehen. In dieser Beziehung gleicht der Kraftgasbetrieb dem Dampfbetriebe, wenngleich die Zeit der Vorbereitung des Betriebes beim ersteren viel weniger Zeit in Anspruch nimmt als beim letzteren. Das Gleiche würde natürlich in jedem anderen Falle eintreten, in welchem man

das für den Gasmaschinenbetrieb zu benutzende Gas besonders und allein für diesen Betrieb herstellt. Das sogen. Kraftgas wird in dieser Beziehung wegen seiner einfachen Herstellungsweise wohl immer die erste Rolle spielen. Möglich wäre indessen, dass andere Generatorgase oder auch Wassergas zu dem Zwecke herangezogen werden könnten. Insbesondere das letztere erscheint seit neuester Zeit von erhöhter Bedeutung, allein wohl nur für den Fall, dass die Gasanstalten selbst die Herstellung in die Hand nehmen, um es im unkarbonierten Zustande, vor allem für Heiz- und Kraftzwecke, zu verwenden. In solchen Fällen wird die Wassergasanlage die jetzige Art der städtischen Gasbereitung ersetzen. Da die Erzeugung solchen Gases, insbesondere des für Kraftzwecke zu verwendenden, unkarbonierten Wassergases sich billiger stellt, als die Herstellung des jetzigen Kohlenleuchtgases, so müssen also auch die Kosten des Betriebes mit Wassergas günstiger werden.

Ein kurzer Vergleich der Ausnutzung des Brennstoffes und der Wärmeausnutzung beim Dampfmaschinenbetrieb mit derjenigen beim Leuchtgas- und beim Kraftgasbetrieb wird in folgenden Tabellen zur Darstellung gebracht:

A. Ausnutzung des Brennstoffes beim Dampfmaschinenbetrieb.

Leistung PS	Ausführung der Maschine	Dampfverbrauch für 1 PS kg	Verdampfungsziffer des Kessels 1 kg Kohle = kg Dampf kg	Wärmeausnutzung in der Maschine %	nach Abzug des Verlustes im Dampfkessel %	nach Abzug der Verluste im Kessel und durch Anheizen %
50	Eincylindrige Kondensationsmaschine	11,35	7,5	8,7	6	4,8
100	Verbund-Kondensationsmaschine	8,25	8	12	8,75	7
200	do.	7,75	8,5	12,8	9,7	7,6
400	Dreifach-Expansionsmaschine	6,25	8,5	15,8	12,2	9,7

B. Ausnutzung des Brennstoffes beim Leuchtgasbetrieb.

	im Motor allein %	unter Berücksichtigung des Verlustes des Gases bei der Erzeugung: bei grossen Gasanstalten %	bei mittleren Gasanstalten %	bei kleinen Gasanstalten %
50 PS Motor und darüber . .	31,5	25,2	22,0	18,8

C. Ausnutzung des Brennstoffes beim Kraftgasbetrieb.

	im Motor allein %	unter Berücksichtigung des Verlustes	
		für die Gaserzeugung %	für die Erzeugung und beim Anheizen %
50 PS Motor und darüber	28,5	21	18,9

Übersichts-Tabelle über die Wärmeausnutzung verschiedener Betriebsmaschinen.

PS	Wärmeausnutzung in % Maschine allein				Wärmeausnutzung in % nach Abzug der Verluste bei Erzeugung, wo solche eintreten können						Wärmeausnutzung in % nach fernerem Abzug der Verluste beim Anheizen, wo solche eintreten können					
	Dampfmaschine mit gesättigtem Dampf	Leuchtgasmotor	Kraftgasmotor	Diesels Petroleummotor	Dampfmaschine mit gesättigtem Dampf	Leuchtgasmotor in grossen Gasanstalten	Leuchtgasmotor in mittleren Gasanstalten	Leuchtgasmotor in kleinen Gasanstalten	Kraftgasbetrieb	Diesels Petroleummotor	Dampfmaschine mit gesättigtem Dampf	Leuchtgasmotor in grossen Gasanstalten	Leuchtgasmotor in mittleren Gasanstalten	Leuchtgasmotor in kleinen Gasanstalten	Kraftgasbetrieb	Diesels Petroleummotor
50	8,7	31,5	28,5	25	6	24,2	22	18,8	21	25	4,8	24,2	22	18,8	16,8	25
100	12,0	31,5	28,5	25	8,85	24,2	22	18,8	21	25	7	24,2	22	18,8	16,8	25
200	12,8	31,5	28,5	—	9,7	24,2	22	18,8	21	—	7,6	24,2	22	18,8	16,8	—
400	15,8	31,5	28,5	—	12,2	24,2	22	18,8	2I	—	9,7	24,2	22	18,8	16,8	—

Die früheren Konstruktionen der Gasmaschinen hatten hohe Reinigungs- und Reparaturkosten aufzuweisen. Die neuen Fabrikate zeigen indes auch hierin grosse Fortschritte, und sind insbesondere über die Reparaturen bei guten und gut behandelten Anlagen die Mitteilungen des Elektrizitätswerkes Dessau bemerkenswert, die ergeben, dass innerhalb der Betriebszeit von zehn Jahren, d. i. vom 10. Oktober 1886 bis zum 31. Dezember 1895 die Reparaturen und Unterhaltungskosten durchschnittlich jährlich 0,22% des Ankaufswertes betragen haben.

Auch die Kosten für Schmierung der neuen Verbrennungskraftmaschinen sind nicht höher, als die der guten Dampfmaschinen. Früher verlangte der Schieber der Gasmotoren erhebliche Schmierung, jetzt, nachdem derselbe beseitigt ist und nur Ventilsteuerung benutzt wird, liegt keinerlei Berechtigung vor, den Ölverbrauch der Verbrennungsmotoren höher anzusetzen, als bei guten Dampfmaschinen.

In der Centrale Dessau wurde ein Ölverbrauch von 8,5 *g* für die PS/St festgestellt. Nach Messungen in dem von Gebr. Körting hergestellten und mit 35 PS-Gasdynamos ausgestatteten Elektrizitätswerke in Walsrode waren bei entsprechender sparsamer Behandlung nur 4 *g* für 1 PS nötig. Dabei ist das Öl durchschnittlich billiger als das bei Dampfmaschinen verwendete.

Die Firma Gebr. Körting in Körtingsdorf bei Hannover, welche im Gasmaschinenbau eine hervorragende Stelle einnimmt, hat für gewisse Fälle eine Kombination zwischen Leuchtgasbetrieb und

Kraftgasbetrieb vorgeschlagen. Hier soll während der Sommermonate, wo die Gasanstalt wenig Leuchtgas braucht, das Leuchtgas zum Betrieb der Gasmaschinen benutzt werden, während im Winter die in Reserve stehende Kraftgasanlage in Thätigkeit treten soll. Es ergiebt diese Vereinigung die denkbar beste Ausnutzung der Gasanstalt, weil alsdann kontinuierlicher Betrieb durchgeführt werden kann, wodurch sich die spezifischen Herstellungskosten auf das kleinste Mass herabdrücken lassen.

Die Vorsehung des gemischten Betriebes hat noch den besonderen Vorteil, dass man auch im Winter, im Falle plötzlichen grossen Bedarfs, innnrhalb weniger Stunden Leuchtgas zu Hilfe nehmen kann, um die weiteren Maschinen in Betrieb zu setzen.

Für ein Kraftwerk mit einer Leistung von 310 PS sind in der nachstehenden Tabelle die Baukosten aufgestellt für Dampfbetrieb mit zwei Kondensations-Verbundmaschinen von je 310 PS Leistung, welche direkt mit zwei Körting'schen Dynamos gekuppelt werden. Beim Gasbetrieb sind zwei Körting'sche zweicylindrige Gasdynamos angenommen worden.

Für die Dampfanlage sind drei Dampfkessel von je 87 *qm* Heizfläche bei 10 Atm. Spannung, von denen einer zur Reserve steht, für die Kraftgasanlage sind zwei Generatoren nebst Zubehör, jeder für eine der Maschinen ausreichend, vorgesehen. Die Reserve besteht in diesem Falle in der Benutzung von Leuchtgas.

Die Zahlen für die gesamte Maschinenstation sind genau berechnet und entsprechen dem heutigen Standpunkt vollendeter Technik.

Demnach stellen sich die Anlagekosten für das Elektrizitätswerk:

	bei Dampfbetrieb ℳ	bei Leuchtgasbetrieb ℳ	bei Kraftgasbetrieb ℳ
Dampfkesselanlage	31 800,—	—	—
		Gasdynamos	Gasdynamos
Maschinenanlage mit Dynamos . . .	99 630,—	119 030,—	119 030,—
Speisevorrichtungen bei den Dampfkesseln und Rohrleitungen . . .	20 600,—	9 720,—	9 720,—
Verpackung und Montage der Dampfanlage	10 000,—	—	—
Kraftgasanlage, fertig montiert . . .	—	—	22 000,—
Anlassvorrichtung der Gasmotoren .	—	1 500,—	1 500,—
Wasserversorgung der Gasmotoren .	—	2 550,—	2 550,—
Akkumulatoren	30 477,—	30 477,—	30 477,—
Verbindungsleitung	4 714,30	4 714,30	4 714,30
Hauptschalttafel	4 975,50	4 975,50	4 975,50
Verteilungsschalttafeln	450,—	450,—	450,—
Celeuchtung der Centrale	800,—	600,—	600,—
Werkstatteinrichtung	1 000,—	1 000,—	1 000,—
Bentralengebäude nebst Schornstein beim Dampfbetrieb	50 000,—	32 000,—	42 000,—
Unvorhergesehenes und Abrundung .	2 553,20	1 983,20	1 923,20
	257 000,—	209 000,—	241 000,—

Aus diesen Zusammenstellungen geht hervor, dass die Leuchtgasanlage die billigste ist.

Hiernach setzen sich die Betriebsunkosten nach folgender Tabelle zusammen:

		Dampfbetrieb mit Kohle das *kg*	Leuchtgasbetrieb Leuchtgas das *cbm*			Kraftgasbetrieb mit Koks das *kg*	Gemischter Leuchtgas- u. Kraftgasbetrieb (je 6 Monate) 30% Energie durch Leuchtgas 70% Energie durch Kraftgas Leuchtgas das *cbm*		
		1,4 ₰	2,5 ₰	5 ₰	8 ₰	1,6 ₰	2,5 ₰	5 ₰	6 ₰
Direkte Unkosten:									
Brennstoffe . . .	ℳ	7019	4389	8778	14038	4493	4199	6304	7014
Schmierstoffe . . .	»	1203	1203	1203	1203	1203	1203	1203	1203
Putzstoffe	»	700	700	700	700	700	700	700	700
Bedienung:									
2 Maschinenmeister .	»	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
		2 Mann				1 Mann	1/2 Mann	1/2 Mann	1/2 Mann
Heizer	»	2000	—	—	—	1000	500	500	500
Hilfskräfte	»	800	600	600	600	600	600	600	600
Reparaturen . . .	»	4000	3000	3000	3000	3500	3250	3250	3250
Versicherung der Batterie . . .	»	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285
Schwefelsäureersatz .	»	560	560	560	560	560	560	560	560
Dynamobürsten etc.	»	200	200	200	200	200	200	200	200
Andere Ersatzmaterialien . .	»	500	500	500	500	500	500	500	500
Feuerversicherung .	»	439	382	382	382	437	437	437	437
Steuern u. Invalidität	»	450	400	400	400	450	425	425	425
Verwaltung . . .	»	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
		28156	22219	26608	31868	23928	22859	24964	25674
Verzinsung = 3,5 % der Anlage . .	ℳ	14350	12670	12670	12670	13790	13790	13790	13790
Abschreibung:									
Gebäude $2^1/_2$% . .	»	1250	800	800	800	1050	1050	1050	1050
Maschine 7 % . . .	»	12315	10215	10215	10215	11755	11755	11755	11755
Akkumulatoren 10 %	»	3048	3048	3048	3048	3048	3048	3048	3048
Selbstverbrauch an Strom . . .	»	56	42	42	42	42	42	42	42
		31019	26775	26775	26775	29685	29685	29685	29685
daher Gesamtunkosten bei ca. 2 000 000 Kilowattstunden .	ℳ	59175	48994	53383	58643	53613	52544	54649	55359
Selbstkosten der erzeugten Kilowattstunde	₰	2,94	2,45	2,67	2,93	2,68	2,63	2,73	2,76

Die Betriebskosten sprechen also wesentlich für Kraftgasbetrieb. Leuchtgas ist nur bei billigsten Preisen konkurrenzfähig.

Die Fig. 13 stellt eine eincylindrige Gasdynamo der Firma Körting dar. Die Dynamomaschine wird direkt mit der Gasmaschine zusammen gebaut. Diese Anordnung ist durch eine sehr kompendiöse Bauart gekennzeichnet. Die direkte Kuppelung hat sich selbst für die kleinsten Gasmaschinen als vorteilhaft erwiesen, und dürfte daher ein Riemenantrieb kaum mehr in Betracht kommen.

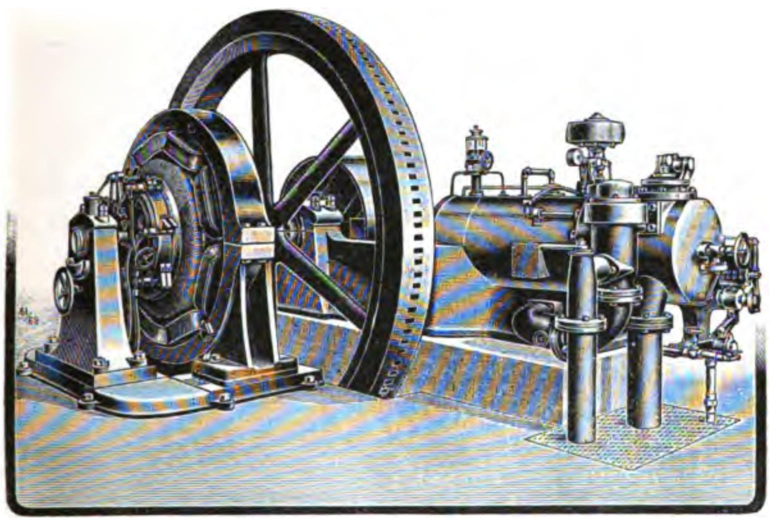


Fig. 13.

Über die Kraftgasanlagen, welche überall da Verwendung finden werden, wo keine Leuchtgasanstalt besteht, oder wo eine bestehende Gasanstalt nicht für die Gasmotoren herangezogen werden soll, ist das Folgende zu erwähnen.

In Fig. 14 und 15 ist eine Körting'sche Kraftgasanlage dargestellt. Das Kraftgas wird im Gegensatz zum Leuchtgas, welches aus gas- oder bitumenreicher Kohle gewonnen wird, durch Vergasung sogenannter gasarmer Brennstoffe, Anthracit oder Koks, hergestellt. Die Gasarmut bezieht sich auf die Abwesenheit derjenigen Stoffe, welche dem Leuchtgase die Leuchtkraft geben, daher ist das Kraftgas für Leuchtzwecke nicht verwendbar. Bei der Kraftgaserzeugung wird der zu vergasende Brennstoff in einen einfachen cylindrischen Schachtofen, den sogenannten Generator, geschüttet und entzündet. Der in Rotglut versetzten Kohle wird von unten

Luft mit Wasserdampf gemischt durch ein Dampfstrahlgebläse zugeführt, woraus ein Gas entsteht, das an

Wasserstoff	rund	18 %
Kohlenoxyd	»	26 %
schweren Kohlenwasserstoffen	«	2 %
Kohlensäure	»	7 %
Stickstoff	»	47 % enthält.

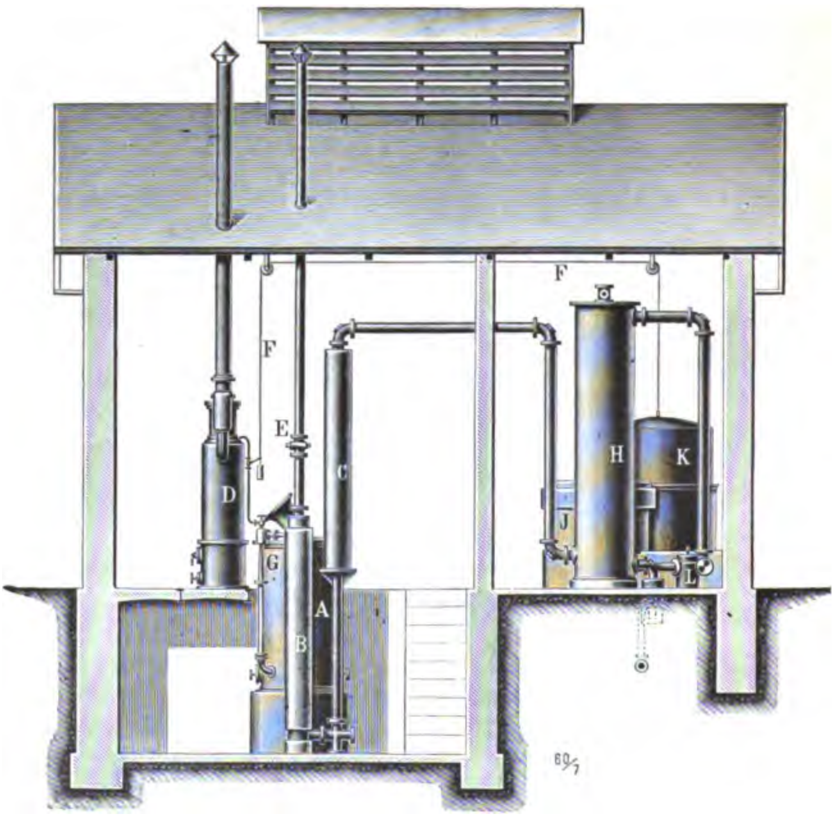


Fig. 14.

Die Erzeugung des Gases ist eine ununterbrochene, da die Generatoren ein fortwährendes Nachfüllen von Kohlen gestatten. Von Zeit zu Zeit ist ein Schlacken der Roste nötig und zwar je nach den verwandten Brennstoffen in der Regel nach zehn- bis fünfzehnstündigem Betriebe.

Das Gas enthält 46 % an brennbaren Bestandteilen und eignet sich neben dem Betriebe von Gasmaschinen zu Heiz- und anderen gewerblichen Zwecken.

Bei vollkommener Verbrennung entwickelt 1 *cbm* des Kraftgases je nach der Güte des benutzten Heizmaterials 1250 bis 1350 Wärmeeinheiten, während Leuchtgas etwa die vierfache Wärme besitzt; daher ist auch für die Erzielung der gleichen Leistung die vierfache Menge Kraftgas nötig. Es ist indessen dabei zu berücksichtigen, dass die aus 1 *kg* Kohle hergestellte Gasmenge eine ungleich höhere ist, als beim Leuchtgas, denn es werden aus 1 *kg* Kohlen 4,5 bis 5 *cbm* Kraftgas und nur 0,3 *cbm* Leuchtgas erzeugt.

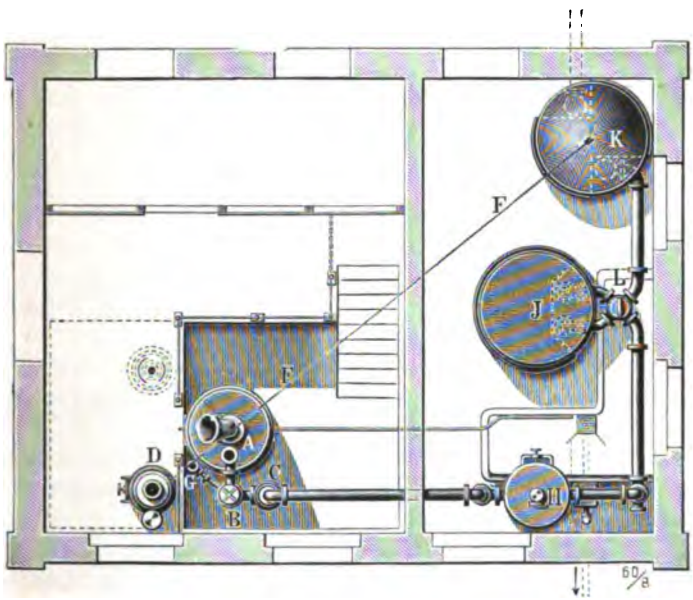


Fig. 15.

Das im Generator erzeugte Gas ist bei Verwendung in Verbrauchsmaschinen zunächst zu reinigen und strömt dann der Verbrauchsstelle zu.

Eine Aufspeicherung des Kraftgases in einem Gasbehälter ist beim Kraftbetrieb nicht nötig, sondern es genügt eine kleine Regulatorglocke, welche den Druck und die ungleichmässige Gasentnahme regelt.

Zur Herstellung der zum Betriebe des Gebläses nötigen geringen Dampfmenge dient ein kleiner, stehender Dampferzeuger mit senkrechter Feuerbüchse, in welcher oben ein spiralförmig gebogenes Rohr angebracht ist, welches den Dampf überhitzt. Dieser überhitzte Dampf bläst mit Hilfe des erwähnten Dampfstrahlgebläses die zur Vergasung nötige Luftmenge in den Generator.

Der Generator ist, wie oben erwähnt, ein einfacher Schachtofen, bestehend aus einem cylindrischen, mit feuerfesten Steinen ausgemauerten Blechmantel, mit einem im unteren Teile angebrachten Planrost; oben ist der Mantel durch einen Deckel, auf welchem sich der Fülltrichter befindet, luftdicht abgeschlossen. Das vom Gebläse kommende Gemisch von Dampf und Luft tritt unter den Rost des Generators und durchströmt die von oben in den Generator eingefüllten Kohlen; hierbei sammelt sich zunächst im oberen Teile des Generatorschachtes das Kraftgas.

Der Fülltrichter hat doppelten Verschluss, damit kein Gas nach aussen entweichen kann. Beim Nachfüllen von Brennstoff wird zunächst der äussere Verschluss geöffnet, hernach der äussere Deckel geschlossen und der untere geöffnet, sodass die Kohle in den Generatorschacht fällt.

Das erzeugte heisse Gas tritt in den Winderhitzer. In diesem erwärmt sich die Verbrennungsluft, sodass die heissen Gase abgekühlt werden und die mit den erzeugten Gasen entweichende Wärme weitthunlichst wiedergewonnen und nutzbar gemacht wird. Es sind damit gegenüber Apparaten ohne Winderhitzung naturgemäss Ersparnisse verbunden.

Zur weiteren Ausnutzung der Wärme des Gases wird ein Vorwärmer eingebaut, welcher bei gleichzeitiger, weiterer Abkühlung der Gase das Speisewasser hoch erwärmt. Eine Abblaseleitung, angebracht am Deckel des Generators und mit einem Hahn versehen, dient dazu, während des Anheizens die anfangs entstehenden, schlecht brennbaren Gase ins Freie zu lassen.

Der Reinigung des Gases dient ein Koksskrubber, dem man bei nicht ganz teerfreien Brennstoffen noch einen Sägespänreiniger hinzufügt.

Der Koksskrubber, vor welchem stets ein Vorwascher eingebaut wird, ist ein cylindrisches Gefäss aus Blech, in welchem eine Koksschicht liegt; diese wird von oben her von Wasser berieselt, während von unten her das Gas durch dieselbe strömt und so gereinigt wird.

Die bei teerreichen Gasen nötigen Sägespänreiniger sind flache Kästen, in denen auf Holzgittern Sägespäne ausgebreitet sind, durch welche das Gas von unten nach oben hindurchgeleitet wird. Von Zeit zu Zeit sind die Sägespäne aus dem Reiniger zu entfernen, um durch trockene ersetzt zu werden. Die Reiniger werden, mit Rücksicht auf das Auswechseln der Späne, mit einer Umlaufleitung, welche ein Ausschalten gestattet, ohne dass dadurch der Betrieb unterbrochen zu werden braucht, versehen.

Das aus den Reinigern kommende Gas wird der Regulatorglocke zugeführt, von wo aus es nach den einzelnen Verwendungsstellen

gelangt. Die Regulatorglocke taucht in Wasser ein und wird von dem einströmenden Gase gehoben; durch Belastung oder Entlastung derselben wird der Gasdruck geregelt. Die Grösse ist so bemessen, dass sie den zeitweilig sinkenden oder steigenden Gasverbrauch genügend auszugleichen vermag; ein Aufspeichern von Gas ist also weder beabsichtigt noch nötig.

Das Auf- und Absteigen der Glocke wird zur Regelung der Gaserzeugung benutzt; dadurch, dass Kettenzüge, welche von der aufsteigenden Glocke selbstthätig beeinflusst werden, entweder die Dampfzuströmung zum Gebläse oder aber das Gebläse selbst einstellen.

Die Überwachung und Bedienung der Kraftgasanlagen ist eine sehr einfache; bei einem einzelnen Generator selbst der grössten Gattung wird nicht einmal ein Mann vollauf beschäftigt. Der Betrieb ist ein sicherer und der Umgebung nicht lästig. Wie schon oben gezeigt, entweichen den vollständig geschlossenen Apparaten keine schlecht riechenden Gase. Ferner entstehen keine Geräusche, weil das Geräusch des Dampfstrahlgebläses, das einzige, welches entstehen kann, durch die Winderhitzung beseitigt wird.

In der Fig. 16 ist das Innere einer Generatorstation und in der Fig. 17 das Innere einer Maschinenhalle, in welcher Gasmaschinen arbeiten, dargestellt.

Herr Professor E. Meyer in Göttingen hat bei einer Rundreise und Rundfrage im April 1899 die Aussagen der Betriebsleiter grosser Gasmaschinenanlagen auf Grund eigener Besichtigung zusammengestellt.

Hiernach müssen die Ventile der Gasmaschinen etwa alle zwei Monate nachgeschliffen werden, was eine sehr leichte Arbeit ist. Andere Reparaturen an Ventilen kommen nicht vor. An der Steuerung sind bei guter Anordnung und Ausführung der Maschinen Reparaturen auch nicht erforderlich. Es kann ab und zu an der Zündvorrichtung das isolierende Porzellanrohr springen, was durch neuere Konstruktionen nahezu gänzlich ausgeschlossen ist; auch ist der Ersatz in wenigen Minuten auszuführen. Die Kurbellager müssen ab und zu neu eingeschabt werden, was auch bei Dampfmaschinen vorkommt.

Die Kolben (und damit die Glühflächen des Cylinders) halten sich sehr gut und geben bei sorgfältiger Ausführung zu Reparaturen keinerlei Veranlassung. Anlagen von über 100 PS, die schon vier Jahre und mehr im Betrieb sind, zeigen, dass die Kolben, an denen während dieser Zeit nie etwas repariert wurde, noch vollständig dicht sind.

Die Lebensdauer grosser Gasmaschinen ist bei Weitem hinreichend, um ihre Vorzüge gegenüber der Dampfmaschine, insbesondere auch mit Rücksicht auf die Billigkeit des Betriebes (Zinsen und Amortisation mit eingeschlossen) voll zur Geltung kommen zu lassen.

Zum Antrieb von Bahnwerken sind seit langem in Kiew ältere Gasmaschinen für Leuchtgas in Betrieb.

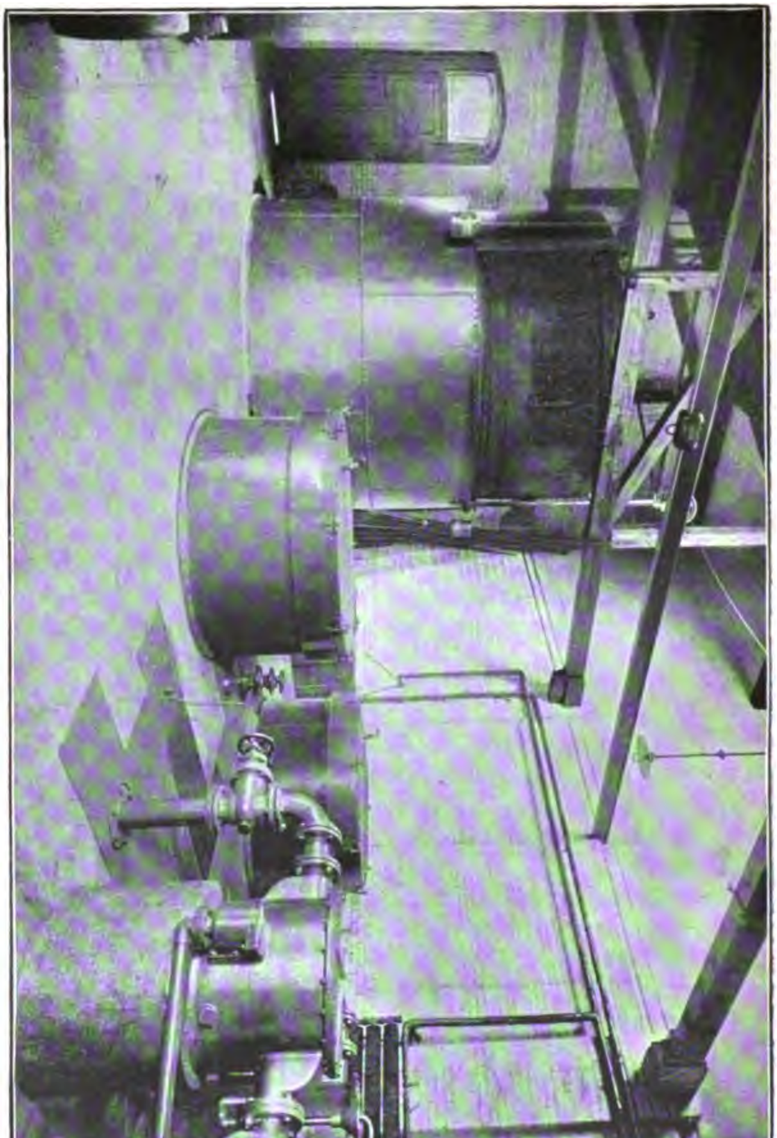


Fig. 16.

Die Lyoner elektrische Ausstellungsbahn wurde mit 100 PS-Gasmaschinen betrieben, wobei das Betriebsgas an Ort und

Stelle erzeugt wurde. Der Kohlenverbrauch für die Pferdekraftstunde betrug einschliesslich allem Nebenverbrauch 0,5 *kg*.

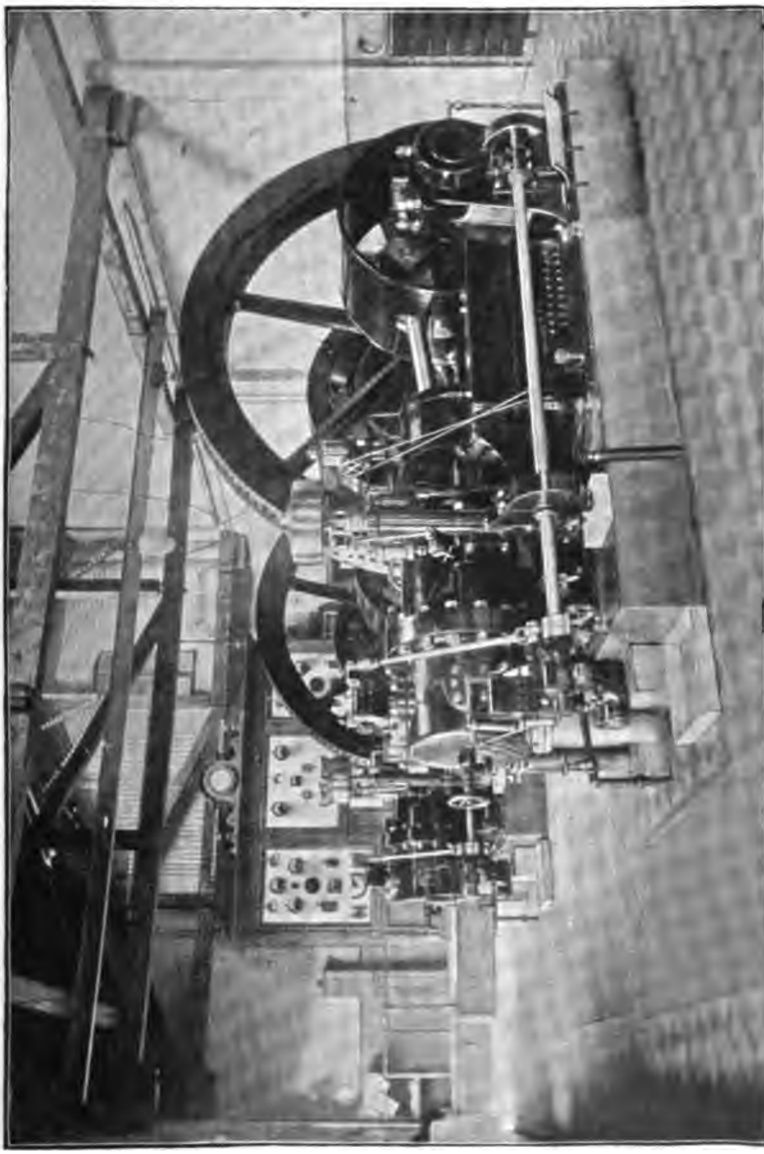


Fig. 17.

In der Centrale der Züricher Bergbahn, in Lausanne, in Trossingen, Meissen, Weimar, Neumarkt in Schl. u. s. w. sind

Kraftgasanlagen mit entsprechenden Maschinen zur Verwendung gelangt und weitere Anlagen befinden sich in Projekt und Bau (Seidenberg i Lausitz u. a.).

Die Zukunft wird sich daher sehr eingehend mit der Frage von Kraftwerken, die mit Gas betrieben werden, zu befassen haben.

Es ist nicht bekannt geworden, ob ein Bahnbetrieb mittels stationärer Gasmaschinen in verschiedenen, im Bahnnetz verteilten kleineren Unterstationen betrieben worden ist; man kann jedoch nicht in Abrede stellen, dass eine derartige Anlage rentabel werden könnte, allerdings nur unter ganz gewissen Voraussetzungen. Wenn z. B. ausserhalb des Bahnnetzes eines grösseren Ortes ein Ausläufer nach einer kleinen, mit Gasanstalt versehenen Ortschaft betrieben werden muss, so kann als Ersatz schwerer Speiseleitungen für diesen Ausläufer eine Gasmaschinenunterstation an geeigneter Stelle die denkbar besten Dienste leisten.

6. Wind- und Wassermotoren.

Da, wo die Naturkräfte Wind und Wasser direkt in Bewegung umgewandelt werden können, ohne erst des bei der Kohle erforderlichen Überganges der Wärme zu bedürfen, ist die Dampfmaschine durch entsprechende Motoren ersetzt. In Betracht kommen hier eigentlich nur Wassermotoren, da Windmotoren noch nicht zu derjenigen Vollkommenheit gelangt sind, die eine beständige Arbeitslieferung in genügender Grösse gewährleisten kann.

Aber auch das Wasser ist nur in ganz seltenen Fällen für jede Jahreszeit wirklich zuverlässig. In wasserreichen Gegenden, z. B. in der Schweiz, Italien, Norwegen nutzt man mit Vorteil die Wasserkräfte aus, ohne dass man nebenbei Dampfbetrieb vorzusehen nötig hat.

Bei uns in Deutschland wird man wohl immer neben den Wassermotoren noch Wärmemotoren aufstellen müssen, um einen Bahnbetrieb jederzeit sicher aufrecht erhalten zu können.

Die Wassermotoren kommen als vertikale oder horizontale Turbinen und Wasserräder zur Anwendung. Die Regulierung für verschiedene Leistungen und Leistungsschwankungen erfolgt entweder durch die viel Kraft erfordernde Schützenregulierung oder indem die vorhandene überschüssige Arbeit elektrisch oder mechanisch abgebremst wird, oder indem sich, durch den Regulator beeinflusst, ein in sich verlaufendes Ölpumpwerk in die Kraftleistung einschaltet (Briegleb, Hansen & Co., Gotha), oder indem schliesslich der Regulator die druckentlasteten Leitschaufeln derart verstellt, dass die durch die Turbine fliessende Wassermenge nur immer der augenblicklichen Arbeitsleistung entspricht. (Schneider, Jaquet & Cie.,

Strassburg-Königshofen.) Die letztgenannte Regulierungsart ist die wirtschaftlich günstigste und überall da empfehlenswert, wo eine spärliche Wasserkraft ausgenutzt werden soll. Das, was man durch Schützenregulierung erreichen würde, bewirkt hier die Turbine selbst mit keiner grösseren Kraft, als sie der Regulator hergeben kann.

7. Kupplungen.

Den Stromerzeuger durch Riemen oder direkt mit der Antriebsmaschine zu kuppeln hängt von der Grösse der verwendeten Antriebsmaschine und der Dynamomaschinen ab.

Die Riementransmission hat den Vorzug, dass durch die Elastizität des Riemens die Umdrehungsungleichheiten der Dampfmaschine sehr gut ausgeglichen werden, dass ferner zwischen der Dampfmaschine und der Dynamomaschine durch den Riemen eine gut isolierte, kraftschliessende Verbindung geschaffen ist, und dass sich die Umdrehungszahl der Dampfmaschine und die des Stromerzeugers besser einander anpassen lassen, als bei direkter Kupplung. Nachteile dieser Übertragung sind das grössere Raumbedürfnis und die Kraftverluste, welche durch die Eigenschaften des Riemens bedingt sind.

Der Vorteil einer direkten Kupplung, d. h. die Welle des Stromerzeugers bildet mit der Kurbelwelle der Antriebsmaschine ein Stück oder beide Wellen sind an ihrer Stossstelle fest oder elastisch mit einander verbunden, ist der der grösseren Betriebssicherheit. Es setzt dieses natürlich voraus, dass die inneren Teile der Dynamo einer Stromüberlastung besonders gut widerstehen, was bei den grösseren Dimensionen des Stromerzeugers unschwer zu erreichen ist. Heutzutage werden Dynamomaschinen sogar so widerstandsfähig gebaut, dass sie bei Kurzschluss, ohne Schaden zu nehmen, einfach ihren Betriebsmotor anhalten, wenn nicht, wie bei Riemenantrieb, das kraftübertragende Glied zerreisst oder abspringt. Das geringe Raumbedürfnis der maschinellen Anlage bei direkter Kupplung macht sich besonders geltend, wenn die Kraftstation auf teurem Terrain innerhalb der Städte liegt. Die direkte Kupplung findet mehr und mehr Anwendung sowohl bei Dampfmaschinen als auch bei Gasmaschinen.

Als Nachteil der direkten Kupplung dürfte geltend zu machen sein, dass Dampfmaschine und Stromerzeuger bei der gemeinschaftlichen Umdrehungszahl nicht immer mit gleich gutem Nutzeffekt arbeiten. Erst bei den grösseren ($>$ 200 PS) Typen lässt sich eine gute Übereinstimmung erzielen, wenn der Ankerradius des Stromerzeugers genügend gross ist.

Bei Gasmaschinen jeder Grösse haben Gebr. Körting die direkte Kupplung als vorteilhaft erkannt, und sieht diese Kombination stets vor, aus Gründen der Billigkeit im Bau und im Betriebe. Der direkte Zusammenbau weist hierbei die folgenden Vorteile auf:

1. Bedeutende Raumersparnis,
2. Geringe Wartung,
3. Grössere Übersichtlichkeit,
4. Möglichste Geräuschlosigkeit,
5. Geringste Abnutzung,
6. Billigster Betrieb.

Ist die Betriebsmaschine eine Turbine, so findet der Dynamoantrieb gewöhnlich durch Winkelzahnräder statt, sofern die Dynamo die übliche Bauart mit wagrechter Drehungsachse besitzt. Die direkte Kuppelung mit der vertikalen Turbinenachse bei geeigneter Konstruktion der Dynamomaschine widerspricht dem Gebrauch ebenfalls nicht, erfordert indes besonders konstruierte Lager, die das Ablaufen des Öles verhindern.

8. Stromerzeuger.

Die durch Dampf, Wasser, Wind, Gas u. s. w. erzeugte Bewegung, die für unsere Zwecke stets eine rotierende sein muss, wird in den Stromerzeugern (Dynamomaschinen) in elektrischen Strom umgewandelt.

Wir befassen uns an dieser Stelle nur mit den Gleichstrom-Dynamomaschinen, welche für unsere Zwecke sowohl als Nebenschluss- wie auch als Verbundmaschinen in Anwendung sind. Die letzteren wegen ihrer guten Selbstregulierung, die ersteren wegen ihres hohen Nutzeffektes bei allen Belastungen und der Möglichkeit, Akkumulatoren laden zu können, ohne hierbei wie bei Verbunddynamos besondere Vorsichtsmassregeln treffen zu müssen. Es lässt sich für die Entscheidung, welche Gattung in jedem Falle die geeignetere ist, die Regel aufstellen, dass bei wenig Wagen und eingleisiger Strecke, wo der ausgleichende Kraftverbrauch durch gleichzeitiges Anfahren sämtlicher Wagen sowohl von der Dampfmaschine als auch von dem Stromerzeuger übernommen werden muss, und eine Akkumulatorenbatterie nicht vorhanden ist, die Verbund-(Dynamo-) Maschine die besten Dienste leisten wird, während bei grosser Wagenzahl und zweigleisiger Strecke, wo der Kraftverbrauch ein regelmässiger sein wird, weil es selten vorkommt, dass sämtliche Wagen zu gleicher Zeit anfahren, der Nebenschluss-Stromerzeuger vorzuziehen ist.

Ein scheinbarer Vorzug der Nebenschlussmaschine wird oft darin gesucht, dass dieselbe bei Kurzschluss auf der Strecke stromlos wird. Die Erfahrung hat indes gezeigt, dass bis zum Stromloswerden eine Wärmeüberlastung eintreten kann.

Serienmaschinen als Primärdynamos sind bei nennenswerten Anlagen bisher nicht verwendet worden. Dagegen ist diese Dynamo als Zusatzmaschine für eine entfernt liegende Bahnstrecke von besonderem Werte, wenn es sich darum handelt, an Stelle starker Speisekabel, die vielleicht nur an verkehrsreichen Betriebstagen ausgenutzt werden, eine höhere Spannung am Endpunkt zu haben. Diese Zusatzmaschine wird alsdann durch einen beliebigen Motor (Nebenschlussmotor, Gasmotor u. dergl.) angetrieben.

Über die Bauart der Dynamos gelten als besondere Bedingungen, dass dieselben alle Stromstösse leicht aufnehmen müssen, ohne deshalb ein Feuern an den Stromabnehmerbürsten zu bewirken, dass die Erwärmung des Ankers, der Schenkel und der Lager im Normalbetriebe nicht mehr als 40° C. und im zweistündigen Maximalbetriebe nicht mehr als 50° C. über Umgebungstemperatur sein darf. Besitzt die betriebene Bahn Fahrschienenpol, so müssen alle Klemmen der Betriebsdynamo, welche mit dem Pol der oberirdischen Stromzuführung in Verbindung stehen, gegen äussere Berührung durch den dienstthuenden Wärter geschützt sein. Ausserdem muss die Leitung dieses Pols an allen vorspringenden Kanten und Ecken besonders weit von der Erdpolleitung entfernt sein, um dem Blitz ein Überspringen an der Maschine zu erschweren.

Der Kommutator soll möglichst geringer Wartung bedürfen, da die Bahnbetriebsmaschine tagsüber ohne Unterbrechung arbeiten soll.

Je nachdem nun die Motorwagen Steigungen, horizontale Strecken oder Gefälle befahren müssen, ändert sich deren Kraftverbrauch innerhalb sehr weiter Grenzen. Demgemäss ist auch der Gesamt-Kraftverbrauch aller von einer Station aus gespeisten Motorwagen ein sehr stark und und schnell wechselnder, wenigstens so lange, als nicht durch eine grosse Anzahl gleichzeitig verkehrender Wagen ein gewisser Ausgleich stattfindet.

Anderseits ist es von Wichtigkeit, dass die Spannung in der Fahrleitung auch bei der höchst möglichen Belastung der Dynamos nicht unter eine bestimmte Grenze sinkt. Nur unter dieser Voraussetzung können die Motoren jederzeit bei normaler Stromstärke ihre volle Kraft entwickeln, während andernfalls hierzu Stromstärken erforderlich sind, welche leicht eine Beschädigung der Motoren herbeiführen.

Den beim elektrischen Bahnbetrieb auftretenden plötzlichen Belastungsänderungen und sonstigen besonderen Anforderungen sind

auf die Dauer nur solche Dynamomaschinen gewachsen, deren Konstruktion bis in die Einzelheiten für den besonderen Zweck durchgebildet ist. Derartig vollkommene Konstruktionen lassen sich aber weder durch rein theoretische Erwägungen, noch auf Grund der in anderen elektrischen Betrieben gemachten Erfahrungen finden, sondern hierzu gehören fortgesetzte Versuche und vor allem ausgedehnte Erfahrungen über das Verhalten der ausgeführten Maschinen unter allen im praktischen Bahnbetrieb vorkommenden Verhältnissen.

Die Abnahme des Stromes vom Kollektor erfolgt jetzt meistens durch Kohlenbürsten, sodass bei allen Graden der Belastung die Stromabnahme vollständig funkenlos geschieht.

Die Ankerwelle soll möglichst mit selbstthätiger Ringschmierung in sehr breiten Lagern laufen, bei denen ein Heisslaufen ausgeschlossen ist. Die Ankerwicklungen müssen sehr fest gegen Verschiebung auf dem Mantel gesichert werden, weshalb man durchweg Nutenanker verwendet. Die Wicklungen selbst werden in Schablonen hergestellt und ohne Nachbiegung in den Anker eingelegt. Eine der bewährtesten Typen für direkte Kupplung ist der in Fig. 18 dargestellte Stromerzeuger für 100 kw. Die Dynamos für direkte Kupplung besitzen grössere Ankerdurchmesser entsprechend ihrer geringeren Umdrehungszahl.

9. Licht- und Kraftbetriebe.

Es liegt nahe, elektrische Gleichstromlichtcentralen mit elektrischen Bahnkraftwerken in einem Gebäude zu vereinigen, da beiden Betrieben der elektrische Strom gemeinsam ist.

Obgleich, abgesehen von den immer mehr in Aufnahme kommenden Hochspannungslampen, die Spannungsverhältnisse für Beleuchtung und für Bahnbetrieb nicht harmonieren, so liegt sowohl technisch wie finanziell in gewissen Fällen ein Vorteil in dieser Kombination, besonders wenn jede der Anlagen oder eine derselben zu klein ist, um allein wirtschaftlich betrieben zu werden. Es können Ersparnisse in der Verwaltung und Beaufsichtigung eintreten, wenn eine Centralisierung der Stromerzeugung für Licht und Kraft vorgenommen wird. Man wird auch Ersparnisse in den Baukosten und infolgedessen auch in den Ausgaben für Verzinsung und Amortisation erwarten können, wenn es möglich ist, die beiderseitigen Leitungsnetze in einem Stromsystem zu vereinigen, für welches man einheitliche Maschinenaggregate nach beiden Richtungen ausnutzen kann. Es ist aber jedenfalls durchaus erforderlich, jedesmal erst genaue Untersuchungen anzustellen, ob es angezeigt ist, zu Gunsten des einen Systems sich mit dem anderen festzulegen oder mit anderen

Worten — ob für das Lichtnetz ein örtlich weniger günstiges Verteilungssystem anzunehmen wäre, nur um die Strassenbahn aus den gleichen Maschinen mit Strom versorgen zu können — oder umgekehrt — einen excentrisch zum Strassenbahnnetz gelegenen Platz für die gemeinsame Centrale zu wählen, um einige Vorteile für das Lichtwerk zu erzielen.

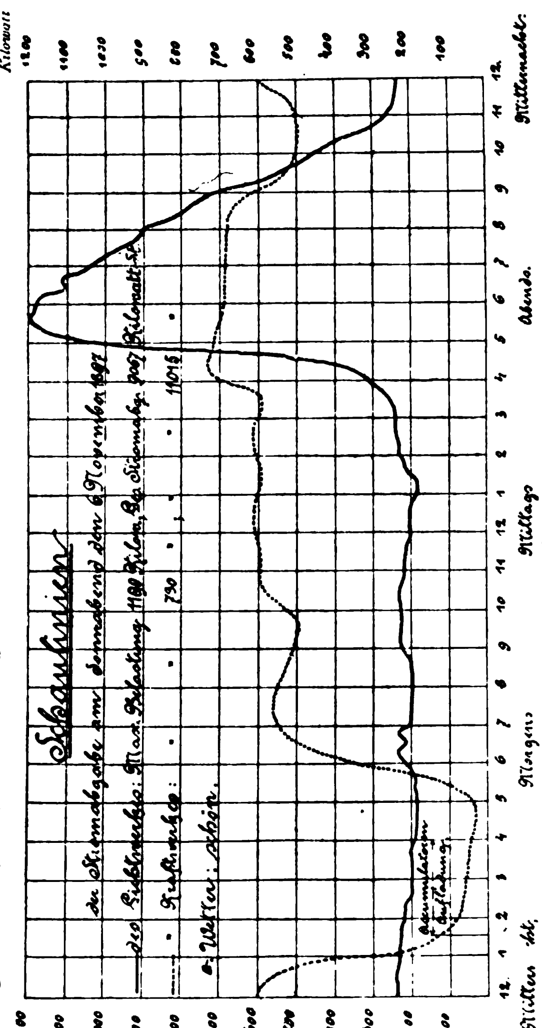


Fig. 19.

Um hierin nicht wieder gutzumachende Fehler zu vermeiden, sind eingehende Rechnungen und Erwägungen in jedem Falle anzuraten — doch wie oben bereits gesagt, eigentlich nur bei kleineren Elektrizitätswerken nötig, da man bei grossen Werken in einer Zusammenlegung keine Vorteile erhält, wie die Belastungskurven Fig. 19 nachweisen.

Die Kurven stellen die Stromabgabe eines Wechselstrom - Lichtwerkes bei Hochstromverteilung mit Einzeltransformatoren und einer angeschlossenen Lampenzahl von 56 000 bezw. deren Äquivalent, und eines von ersterem räumlich getrennten Kraftwerkes mit 500 Volt Gleichstromverteilung für 40 km doppelgleisige starkfrequentierte Strassenbahn für denselben Tag (6. Nov. 1897) dar.

Wir wollen nun untersuchen, welche Ersparnisse durch eine etwaige Zusammenlegung beider Werke hätten gemacht werden können.

Der Umfang des Versorgungsgebietes schloss in diesem Falle ohne Weiteres die Verwendung des Gleichstroms zur Beleuchtung aus, so dass jedes Werk seine besonderen Maschinen mit Reserven erhalten musste.

Was die Dampferzeugung anbetrifft, so könnte dieselbe zwar für Licht- und Kraftmaschinen gemeinsam in denselben Kesseln stattfinden, welche Dampf der jeweiligen Summe der beiden Belastungen entsprechend zu liefern hätten.

Eine Ersparnis an installierter Heizfläche würde dann eintreten, wenn die Belastungsschwankungen beider Werke gegenseitig sich ausglichen. Dies ist aber nicht der Fall. Wie ein Vergleich der beigegebenen Kurven zeigt, fallen die maximalen Tageslastungen vom Licht — wie vom Kraftwerk ziemlich auf dieselben Tagesstunden; es ist also der Dampfverbrauch Abend gegen 5 Uhr nahezu der Summe der beiden höchsten Erhebungen der Kurven proportional, es wird also für die Maximalleistung jedes Werkes die erforderliche Kesselanzahl im Betrieb zu halten sein. Die Kessel-Reserve, welche der in gewissen Zeitabschnitten notwendigen Reinigung der Kessel wegen erforderlich ist, richtet sich nach der Anzahl der täglich im Betrieb befindlichen Kessel und kann durch eine Vereinigung der Kesselhäuser eine Verringerung nicht erfahren.

Das Bedienungspersonal erhöht sich naturgemäss proportional mit der Anzahl der im Betrieb befindlichen Maschinen und Kessel, das Gebäude muss im Verhältnis der zu installierenden Apparate grösser und teurer werden, so dass auch hierin wesentliche Ersparnisse in Bau und Betrieb nicht zu erwarten sind.

Dr. Martin Kallmann, Stadtelektrotechniker Berlins, hat in einem sehr eingehenden Vortrag im Elektrotechnischen Verein zu Berlin eine Zusammenstellung aller kommunalen wirtschaftlichen Fragen gegeben, auf welche hier hingewiesen sein möge. (Vergl. den Bericht in der ETZ 1895, Heft 50, S. 793.)

Bei einer Beleuchtungsanlage mit Mehrleitersystem ist es ohne weiteres möglich, für den Bahnbetrieb eine Spannung von 300 oder 500 Volt aus den Aussenleitern zu entnehmen, indem alsdann die Dynamos in Hintereinanderschaltung arbeiten. In Deutschland sind derartige Anlagen in Gera, Zwickau, Hamburg, Stuttgart, Berlin u. s. w. ausgeführt.

In Städten mit Wechselstrom-Lichtcentralen hat man besondere Bahnkraftwerke mit Gleichstrom angelegt, wie in Chemnitz, Dresden, Nürnberg. In Frankfurt am Main speist man die Bahnen aus dem bestehenden Wechselstromnetz mittels rotierender Transformatoren, was keinerlei Störungen im Elektrizitätswerk ergeben hat, weil dasselbe sehr gross ist.

Der Wechselstrom bietet die bequemste Gelegenheit, den üblichen beiden Spannungen von 110 bezw. 220 Volt für Licht und 500 Volt für Bahnen an ein und derselben Maschine Rechnung zu tragen und gleichzeitig eine rationelle Fernleitung bei hochgespanntem Strome zu ermöglichen. Es giebt anderseits kein besseres System, als Licht- und Kraftabgabe in der Kraftstation so zu vereinigen, dass nicht nur die Kessel, sondern auch die Dampfmaschinen, Dynamos und sonstigen Apparate sowie Leitungen gegenseitig eine passende Reserve bilden.

Wenn man sich nun mit Kombinationen zwischen Wechselstrom-Licht- und -Kraftwerk befassen muss, so ist zunächst die Frage einer Erläuterung bedürftig, wie die Schwankungen des Bahnbetriebes auf das Lichtnetz vermieden werden, da die Kombination nur dann von grossem Vorteil ist, wenn von derselben Maschine und wo möglich von demselben Lichtkabelnetz, welches tagsüber unausgenutzt in der Erde liegt, der Strom für die Bahn entnommen werden kann. Es ist daher unzulässig, die vom Lichtwerk und Lichtnetz zu betreibende Bahn mit direkter Stromverbindung zu versehen, denn, da es sich bei Kombinationen im allgemeinen um nur kleine Bahnanlagen handeln kann, welche man zweckmässig mit Lichtwerken vereinigt, wären die Spannungsschwankungen zu gross. Dazu kommt noch, wie in Fig. 19 gezeigt ist, dass die Bahn während der Stunden des stärksten Lichtbetriebes ebenfalls einen starken Betrieb erfordert, und das Lichtwerk in dem Falle nicht in der Lage wäre, mit den geringsten anzulegenden Maschinenanlagen bei Wahrung der nötigen Reserven beide Abnahmegebiete voll versorgen zu können. Diese Betrachtungen deuten also darauf hin, Akkumulatoren für den Bahnbetrieb zu verwenden und zwar in der Form, wie sie schon für andere Betriebe in brauchbarer Gestalt vorhanden sind. Ein reiner Akkumulatorenbetrieb mit Batterien für ganze Tagesleistungen ist wegen der Grösse mitzubewegender Batterien unwirtschaftlich, vielmehr ist das Schnellladesystem für einzelne Streckenfahrten zum Ausgleich gut geeignet. In dem Kraftspeicher der Akkumulatorenbatterie ist ein Arbeitsvorrat anzusammeln, der alsdann über die wenigen Stunden des täglichen starken Lichtbetriebes hinweghilft. Der Betrieb wäre nun folgendermassen zu denken. An dem Endpunkt einer Strassenbahnlinie ist ein Wechselstrom-Gleichstrom-Transformator geeigneter Grösse und Form aufgestellt worden, welcher den am Endpunkt sich aufhaltenden Wagen in wenigen Minuten mit soviel Strom versieht, dass derselbe für eine Hin- und Rückfahrt der Strecke mit Kraft versehen ist. Wenn die Haltezeit für die Ladung nicht ausreicht, kann noch ein kurzes Stück Oberleitung montiert werden, unter der der Wagen stromempfangend fährt. Der Betriebs-

wagen beginnt seine Tagesfahrt mit vollaufgeladener Batterie und soll in den lichtschwachen Tagesstunden nach jeder Streckenfahrt durch den Transformator wieder vollgeladen werden, damit er jederzeit befähigt ist, das Doppelte seiner Leistungen herauszugeben, wenn er z. B. einen betriebskranken Wagen fortschieben muss, oder wenn Witterungseinflüsse grössere Kraftanstrengungen erfordern. Am Ende des Tages kann die Wagenbatterie annähernd erschöpft sein. Die angesammelte Kapazität der Batterie soll tagsüber, wie dies auch bei den heutigen Betrieben in Hannover und Dresden der Fall ist, als Betriebsreserve mitgeführt werden, während dieselbe bei der lichtstarken Zeit für den Betrieb verausgabt werden kann, sodass während dieser Zeit das Lichtwerk nur etwa mit einem Drittel oder einem Viertel der Tagesarbeit mitzuwirken hat. Will man das Lichtwerk vollständig für gewisse Stunden am Tage entlasten, so würde es sich noch empfehlen, eine entsprechende Batterie in der Nähe dieses Transformators aufzustellen, welche in der Zeit des starken Lichtbetriebes auch dieses letzte Drittel oder Viertel für den Bahnbetrieb übernimmt, sodass die Lichtanlage für diese Zeit vollständig entlastet ist. Diese sekundäre Batterie führt gleichzeitig noch einen weiteren Kraftausgleich während der an und für sich schon gleichmässigen Wagenladung herbei, da es immerhin möglich sein kann, dass der eine Wagen seine Ladung bereits beendet hat, während der andere noch nicht begonnen hat, sodass in dieser Zwischenzeit die Arbeit des Transformators auf die stationäre Batterie übergeht. Es kann auch der Fall eintreten, dass zwei Wagen zugleich an dem Transformator hängen, der nur für eine Ladung eingerichtet ist, und in diesem Falle kann die stationäre Batterie ebenfalls Ladestrom abgeben. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, dass die stationäre Batterie vollständig entladen werden darf, während man es bei der Wagenbatterie vermeiden möchte, den letzten Rest der Kapazität abzugeben, so lange noch Betriebsfahrten mit den Wagen vorgenommen werden müssen. Dieses System bietet nun die Möglichkeit, die Wechselstromanlage auch während der Nacht stark zu belasten, wenn wegen weniger Lampen ein grösseres Maschinenaggregat die Nacht über in Betrieb gehalten werden muss. Es können namentlich die erschöpften Wagenbatterien des Nachts so weit aufgeladen werden, dass sie den Tagesbetrieb, wie bereits erwähnt, mit voller Ladung beginnen können.

Ein Beispiel möge Aufschluss darüber geben, mit welchen Grössen und Geldbeträgen man von Fall zu Fall zu rechnen hat. Für die Wagenbatterie ist angenommen, dass das Gewicht von 2000 kg nicht überschritten wird, da die neueren Ausführungen bewiesen haben, dass man mit einer Batterie genannten Gewichtes imstande ist, den

hohen Anfahrstromstärken bis zu 100 Ampere bei 500 Volt ohne Schädigung der Platten gerecht zu werden und dass man eine Kapazität von etwa 15 Kilowattstunden, gleichbedeutend einer Leistung von etwa 25—30 Wagenkilometer in derselben aufspeichern kann. Batterien von grösserem Gewicht dürften als nicht mehr zeitgemäss gelten, während Batterien von geringerem Gewicht noch erstrebenswert bleiben und vermutlich auch bald erreicht sein werden. Ein Wagen leistet bei 16 Stunden Tagesbetrieb einschliesslich der Strecken- und Endaufenthalte am Tage 160 km. Rechnet man für eine Tonne bewegten Wagengewichtes bei 12 bis 15 km/St. Wagengeschwindigkeit 50 Wattstunden, was dem durchschnittlichen Arbeitsverbrauch bei Strassenbahnanlagen entspricht, und rechnet man, dass zweiachsige Wagen ohne Akkumulatoren ein Gewicht von 8 Tonnen einschliesslich Volllast haben, und demnach, dass Wagen mit 2 Tonnen Batterien wenigstens 10 Tonnen mit Volllast wiegen, so kommen wir auf eine Leistung von $10 \cdot 50 = 500$ Wattstunden $\times$ 160 km = 80 Kilowattstunden Leistung für einen Akkumulatorenwagen mit Tagesleistung. Rechnen wir aus der Praxis mit runden Zahlen, so können wir annehmen, dass eine Ampèrestunde einer positiven Plattenoberfläche von 2 qdm entspricht, d. h. = 0,5 Kilowattstunden. Demnach entsprechen einer Kilowattstunde 4 qdm positive Elektrodenoberfläche. Eine Batterie von 2 t Gewicht fasst eine Oberfläche von 60 qdm, somit eine Kapazität von 15 kw/St. Wenn wir annehmen, dass die Betriebsstrecke 5 km lang sei, so wird für Hin- und Rückfahrt = 10 km eine Kapazität von $10 \cdot 10 \cdot 50 = 5$ Kilowattstunden für jede Fahrt gebraucht. Es verbleiben somit $^2/_3$ Betriebsreserve, welche Strom für 2 Stunden liefern kann. Nimmt man an, dass für jeden Wagen noch eine stationäre Batterie gleicher Grösse in der Transformatorenstation zur Entladung bereit steht, so könnten nach Abzug des Nutzeffektes der Entladung noch weitere $2^1/_2$ Stunden Betriebskraft bereit gestellt werden, oder was dem praktischen Bedürfnisse noch besser entsprechen würde, während einer fast 3 stündigen Betriebszeit müssten die Wagenbatterien mit ca. 40% Betriebsreserve arbeiten. Die Mehrkosten dieser Bahnanlage gegenüber einer reinen Akkumulatorenbahn mit besonderem Stromlieferungswerk müssten durch geringe Stromkosten gedeckt werden, wenn ein Vorteil darin erblickt werden soll. Eine Transformatorenanlage einschliesslich entsprechender Reservebatterie dürfte 50000 Mk. kosten, womit eine 5 km lange Strecke mit 6 Minuten Wagenintervalle, d. h. mit 10 Wagen betrieben werden kann. Während 16 Betriebsstunden können mithin täglich $16 \cdot 10 \cdot 10 = 1600$ Wgkm und jährlich 600000 Wgkm geleistet werden. Die Leistung entspricht unter Berücksichtigung des Transformatorverlustes einem Energieverbrauch von

315000 kw/St. Obiges Anlagekapital soll mit 10 % verzinst und amortisiert werden und weitere 10 % sollen als Unterhaltungsbeitrag eingesetzt werden, sodass 10000 Mk. an Stromkosten erspart werden müssten. Falls der Strom bei direkter Erzeugung 10 Pf. für die kw/S. kostet, müsste er hier mit $10 - \frac{1000000}{315000} = 6{,}8$ Pf. verkauft werden.

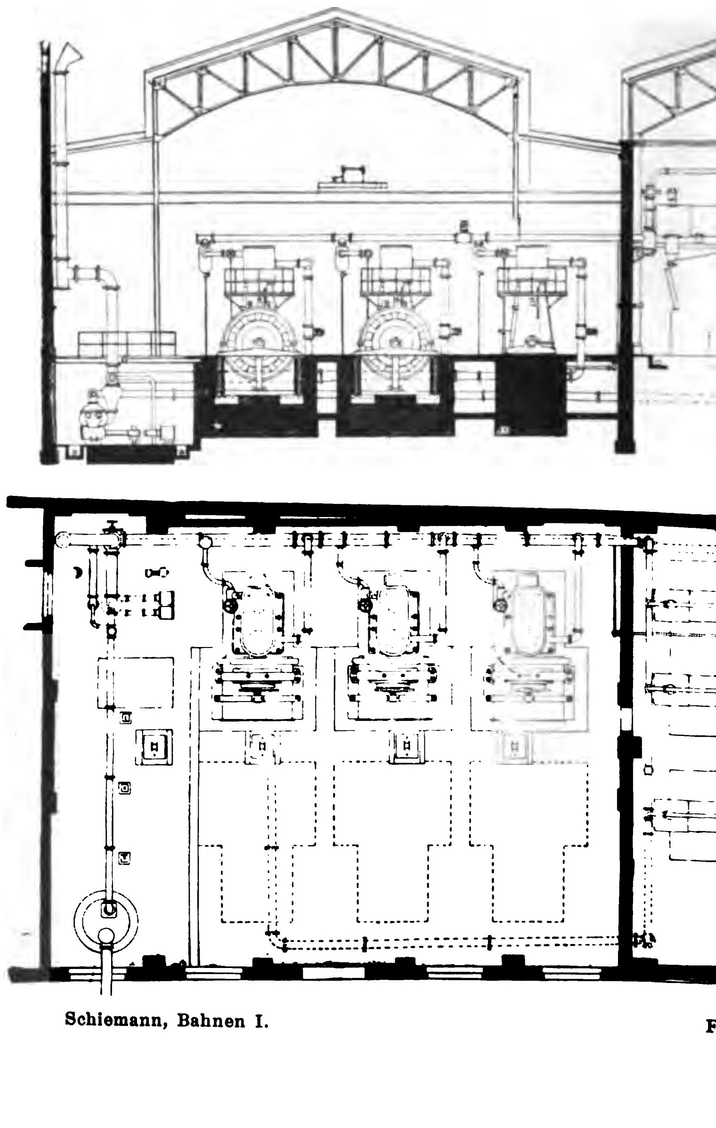
Bedenkt man hierbei, dass reine Bahnkraftwerke, die in eigener Regie von der Strassenbahngesellschaft betrieben werden, den Strom zu diesem Preise liefern können, so folgert aus der rohen Rechnung obiger Darlegungen, dass ein städtisches Wechselstrom-Lichtwerk eine gute Ausnutzung bei derartigen Betrieben finden muss.

Mit der fortschreitenden elektrischen Beleuchtung hat sich auch die ältere Gasbeleuchtung bemüht, in der Vervollkommnung gleichen Schritt zu halten, sodass sich die Elektrizitätswerke in dem Gas eine scharfe Konkurrenz grossgezogen haben. Das Gebiet der elektrischen Kraftverteilung, besonders für Bahnzwecke, kann indes niemals durch Gasanstalten bewältigt oder überhaupt nur erreicht werden, und darum darf man denjenigen Elektrizitätswerken eine grössere Zukunft vorhersagen, welche ihr Arbeitsgebiet auf den konkurrenzlosen Elektromotor ausgedehnt haben. Die grösste Anwendung des Elektromotors mit allen seinen guten Eigenschaften ist die für Transportzwecke, und zwar lediglich deshalb, weil die zeitweise Mehrleistung, z. B. beim Anfahren des Wagens, bei grossen Steigungen und bei mehreren Anhängewagen, nicht von einem grösseren Gewicht oder unrationeller Ausnutzung des Motors begleitet wird. Der Elektromotor schmiegt sich den wechselnden Zugkräften und Leistungen sozusagen von selbst an, leistet ohne Schaden momentan 50 bis 100 % mehr und vermeidet Unzuträglichkeiten, welche andere Bahnmaschinen mit sich gebracht haben.

Bei sehr grossen Bahnanlagen mit intensivem Verkehr kann man, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist, von einer Ersparnis bei kombiniertem Stromerzeugungswerk kaum sprechen. Man begeht alsdann keinen Fehler, wenn man ganz davon absieht und sich nur reine Verhältnisse schafft.

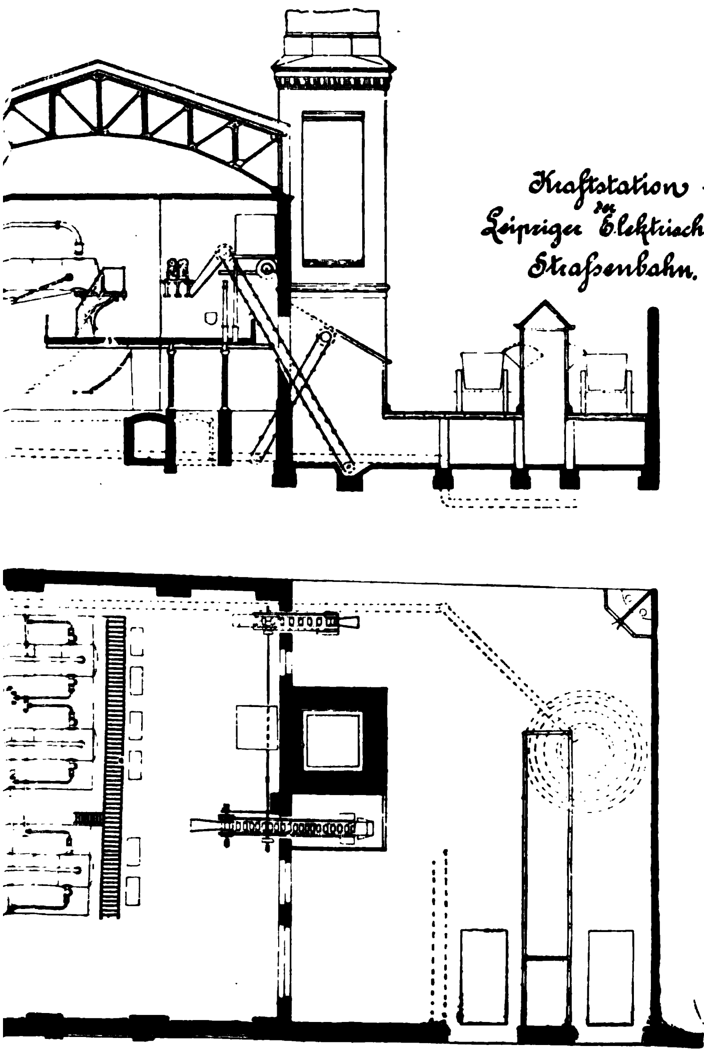
Ein besonders charakteristisches und modernes Bild eines reinen Bahnkraftwerkes zeigt Fig. 20 in der Kraftstation der Leipziger elektrischen Strassenbahn.

Es ist hier auf kleinstem Platze die grösstmögliche Ausnutzung geboten, da das Werk mitten in der Stadt liegt. Schöpferin dieser Anlage ist die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft zu Berlin. Fig. 21 zeigt ein photographisches Bild des Strassenbahn-Kraft-



Schiemann, Bahnen I.

Fi



g. 20. Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

werkes in Witten a./Ruhr. Die stehenden Dampfmaschinen von der Chemnitzer Maschinenfabrik (Rich. Hartmann-Chemnitz) sind direkt mit den Dynamos (A. G. El. W. vorm. O. L. Kummer & Co.,

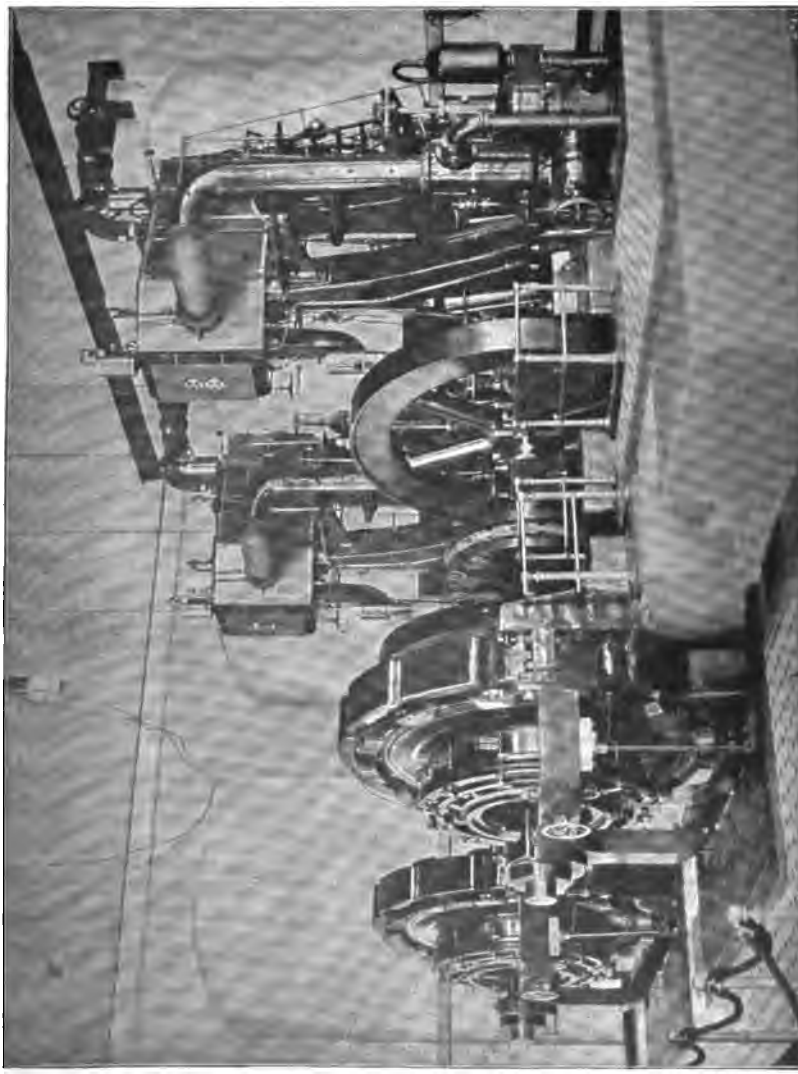


Fig. 21.

Dresden) gekuppelt, und leisten bei günstigstem Füllungsgrade je 300 PS. Auch hier ist die Raumausnutzung trotz üppigster Bauweise die denkbar günstigste.

10. Schaltanlage.

Der erzeugte Betriebsstrom, welcher bei allen neueren Anlagen mit 500—600 Volt Spannung in die Schaltanlage tritt, wird wie bei

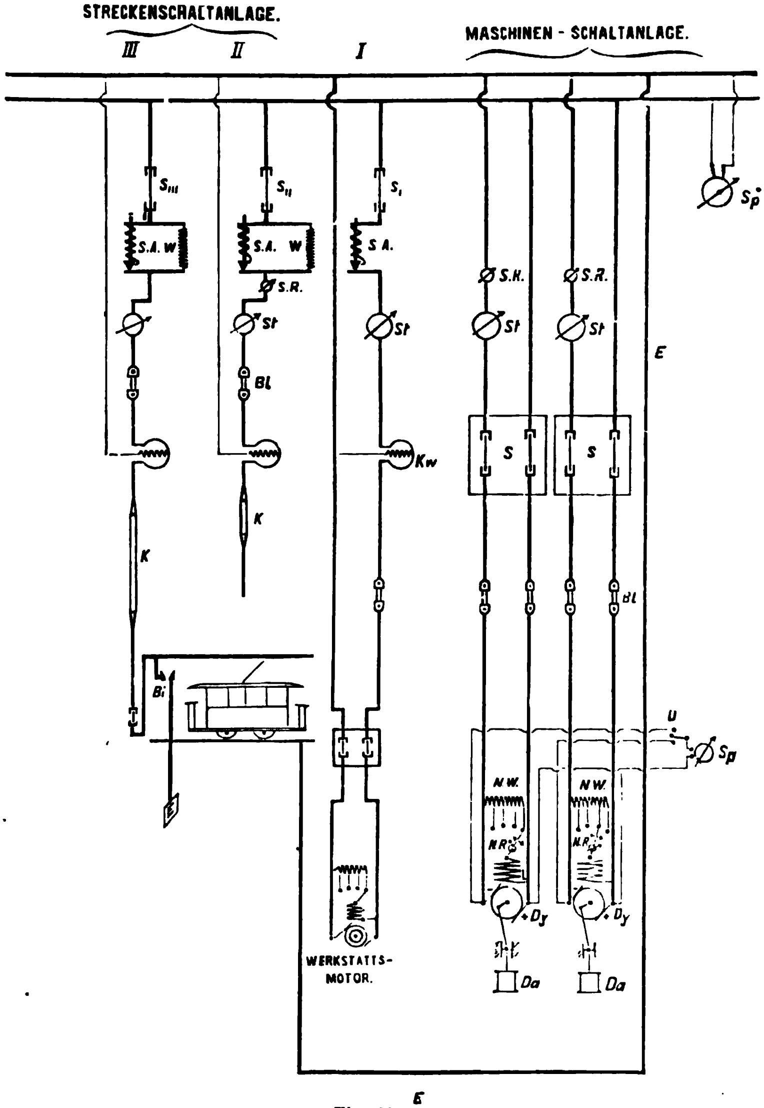


Fig. 22.

anderen Elektrizitätswerken in üblicher Weise gemessen, verteilt, gesichert, registriert u. s. w.

In dem allgemeinen Stations- und Streckenschaltungsschema der Fig. 22 befinden sich rechts die Dampfmaschinen Da, welche die Dynamomaschinen Dy antreiben. Zur Regulierung des Nebenschlusses muss auf der Schaltbühne der Nebenschlussregulierwiderstand angebracht werden. Derselbe ist mit NR bezeichnet. Zur Messung der Netzspannung und der Maschinenspannung dienen die Spannungsmesser Sp und der Umschalter U. Zwischen den Hauptleitungen der Maschinen und den Sammelschienen einer Schaltanlage befinden sich noch Bleisicherungen Bl, doppelpolige Hauptschalter S, Strommesser St und Stromrichtungszeiger SR; die Einschaltung von Starkstromautomaten in diesen Leitungen erübrigt sich, da in die Streckenleitungen solche Apparate eingebaut werden müssen. Von den Sammelschienen werden nun die Streckenleitungen und die Leitungen für den Betrieb von etwaigen Werkstattmotoren abgezweigt, wie die linke Hälfte des Bildes zeigt.

Leitung I zeigt eine zweipolige Leitung zum Treiben eines Werkstattmotors. Diese Leitung enthält: einen einpoligen oder auch zweipoligen Schalter S', einen Starkstromausschalter SA, einen Stromzeiger S,, einen Kilowattstundenzähler Kw, eventuell noch eine Bleisicherung. Der auf der Figur weiterhin angegebene doppelpolige Ausschalter, sowie der Nebenschlussregulator gehören nicht zur Hauptschaltanlage, sondern werden in der Nähe des aufzustellenden Motors auf besonderem kleinen Schaltbrett montiert.

Leitung II stellt eine einpolige Abzweigung von der Hauptsammelschiene zu einer Strecke dar, auf welcher ein gemischter Betrieb stattfindet, d. h. auf welcher teilweise mit direkter Stromzuführung zum Wagen, teilweise mit Entladung der auf der direkten Strecke geladenen, im Wagen mitgeführten Akkumulatoren gefahren wird. Die direkte Stromzuführung kann sowohl oberirdisch als auch unterirdisch sein, ohne dadurch Änderungen an der Schaltanlage zu bedingen. Für die Streckenleitung genügt ein einpoliger Schalter S,,, hinter welchem der Streckenautomat SA, ein Stromrichtungszeiger SR, ein Strommesser, eine Bleisicherung, ein Kilowattstundenzähler vor der Einmündung in das Streckenkabel K eingeschaltet ist. Um beim Ausspringen die Abreissfunken an den Starkstromausschaltern zu verringern, empfiehlt es sich noch, der Funkenstrecke einen hohen Widerstand W ständig parallel zu schalten. Der Stromrichtungszeiger hat in dieser Leitung den Zweck, anzudeuten, ob infolge irgend eines Betriebs- oder Schaltungsfehlers die auf der Strecke befindlichen Akkumulatoren Strom aus der Sammelschiene der Station erhalten oder ihr denselben abgeben. Ein derartiger Stromrichtungszeiger kann mit einer signalisierenden Kontaktvorrichtung versehen sein, um dem Schaltwärter automatisch ein Zeichen geben

zu können, wenn umgekehrte Stromrichtung vorhanden ist. Es kann auch der Starkstromautomat zum Ausspringen bei umgekehrter Stromrichtung eingerichtet werden.

Die unter III dargestellte einpolige Leitung ist ebenso beschaffen wie Leitung II mit Auslassung des hier überflüssigen Stromrichtungszeigers. Das mit K bezeichnete Stück des Leitungsweges bedeutet das unter- oder oberirdische Kabel bis zur Verwendungsstelle. Nach Austritt des Stromes aus dem Kabel wird mittels eines wiederum einpoligen Schalters die oberirdische bezw. unterirdische Leitung mit der Kraftstation in Verbindung gebracht. Der mit Bi bezeichnete Apparat stellt schematisch eine an Erde und Schienen angeschlossene Blitzableitung auf der Strecke dar. Die Fahrschienen der Bahn sind entweder durch die Erde oder durch besondere Leitungen an die Erdsammelleitung der stationären Schaltanlage gelegt. Diese Leitung ist mit E bezeichnet.

Die Schaltung zwischen den Dynamos und den Streckenleitungen ist noch durch die folgenden ausführlichen und ausgeführten Schemata erläutert. Fig. 23 stellt das Schema mit reinem Maschinenbetrieb dar. Der in den Dynamomaschinen erzeugte Strom durchläuft zunächst die zu einem ordnungsgemässen und sicheren Betriebe nötigen Apparate und geht, nachdem er den Hauptzähler passiert hat, in die einzelnen Speiseleitungen. Jede dieser Speiseleitungen, welche auch direkte Fahrdrahtanschlüsse bei kleinen Anlagen und einheitlicher Verwaltung sein können, enthält eine Bleisicherung, einen Strommesser, einen Maximalausschalter und eventuell eine Induktionsspule, um das Eindringen eines durch Blitzschläge hervorgerufenen Stromes in die Station zu verhindern; eine sichere Ableitung desselben zur Erde wird ausserdem durch einen in jeder Speiseleitung vorgesehenen Blitzableiter gewährleistet. Um sich stets von der guten Isolation des Fahrdrahtes gegen Erde überzeugen zu können, ist jede Hauptabteilung desselben durch einen Umschalter mit einem Erdschlussprüfer verbunden.

Der Dynamomaschinenstromkreis ist doppelpolig abschaltbar, doppelpolig gesichert und mit einem Strommesser und einem Stromrichtungszeiger versehen; letzterer Apparat hat den Zweck, beim Parallelbetrieb mehrerer Maschinen das beim Versagen einer Antriebsmaschine etwa eintretende Aufeinanderarbeiten der Dynamomaschinen sofort erkennen zu lassen. Dieser Stromrichtungszeiger kann wegfallen, wenn in einen Pol ein Minimalausschalter gelegt wird.

Wenn eine Bahn geringe Zugfolge besitzt, oder eingleisig ist, sodass mehrere Wagen gleichzeitig anfahren, oder starke Steigungen aufweist, überhaupt wenn starke Stromstösse zu erwarten sind, ist

die Aufstellung einer **Pufferbatterie** üblich geworden, da dadurch die Maschinen für den mittleren Kraftbedarf vorgesehen werden können, während die Batterie die Stromstösse aufnimmt.

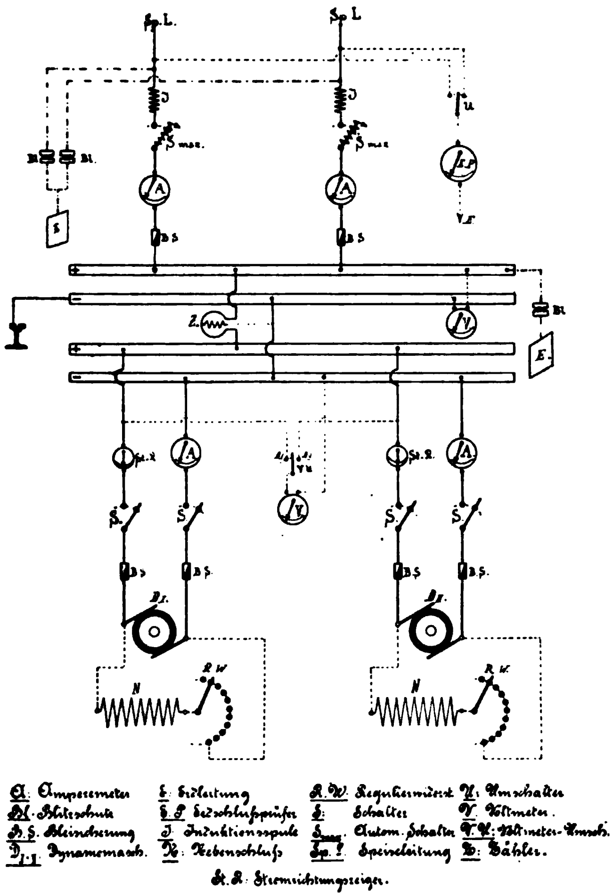


Fig. 23.

Fig. 24 zeigt das Schema einer Kraftstation mit Pufferbatterie; dasselbe enthält dieselben Apparate wie Fig. 23, zu welchen noch diejenigen für den Akkumulatorenbetrieb kommen.

Da die **Pufferbatterie** während des Betriebes stets in Parallelschaltung zu den Maschinen liegt, wird dieselbe meistens wenig entladen sein, aber es macht sich, bei besonders starken Beanspruchungen, so z. B., wenn die Batterie beim Defektwerden einer Maschine einen Teil der gesamten Leistung, oder wie dies bei kleinen

Anlagen vorkommen kann, die gesamte Leistung übernehmen muss, und auch bei normalem Betriebe, von Zeit zu Zeit eine **Vollaufladung** der Batterie bis auf 2,75 Volt für jede Zelle nötig. Da die stationären Dynamomaschinen meist nicht für die beim Laden nötige Spannungserhöhung eingerichtet sind, so muss die Batterie entweder durch Zusatzmaschinen oder in Reihen aufgeladen werden. Im letzteren Falle wird von der Anwendung von Zellenschaltern ganz

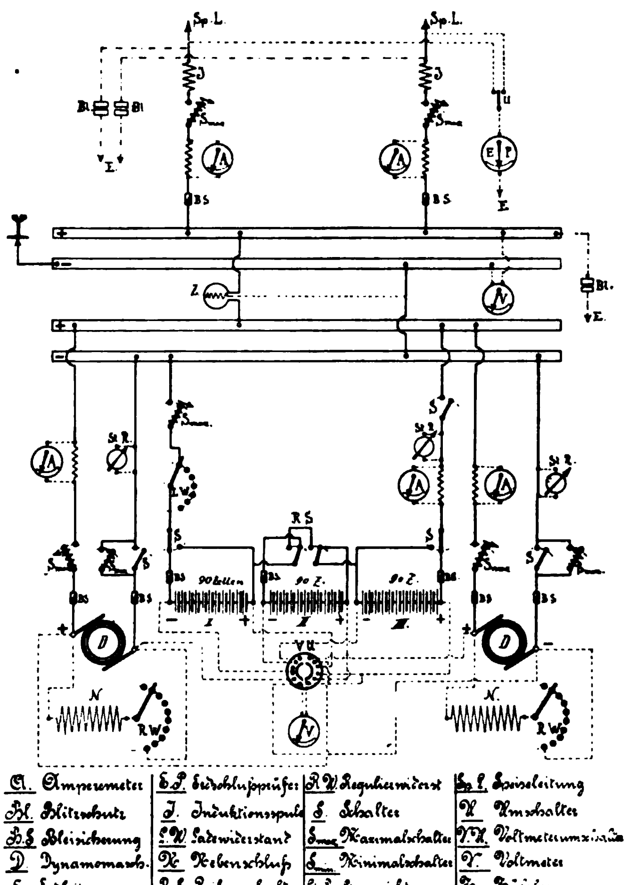


Fig. 24.

abgesehen, während im ersteren Falle, besonders bei grossen Anlagen, solche ziemlich oft Verwendung finden.

Die Pufferbatterien bestehen bei 500 Volt Betriebsspannung gewöhnlich aus 270 Zellen. In dem Schaltungsschema Fig. 24 enthält

der Akkumulatorenstromkreis eine doppelpolige Bleisicherung, eine Schalterkombination zum Laden der Batterie in drei Reihen, einen Ladewiderstand, einen Strommesser, einen Stromrichtungszeiger und einen Maximalausschalter, um Entladungen der Batterie mit zu hohen Stromstärken zu verhüten.

Die Aufladungen der Batterie bis 2,75 Volt für jede Zelle geschieht in drei Reihen.

Es wird zunächst Gruppe 1 und 2 eine bestimmte Zeit geladen, hierauf durch Schalterumstellung 1 und 3 dieselbe Zeit und endlich 2 und 3 in gleicher Weise. Je nach der Übung des Wärters erfolgt die Vollladung mit mehr oder weniger Umschaltung. Wenngleich diese Art der Aufladung einige Aufmerksamkeit des Maschinisten erfordert, so wird dieser doch sehr bald imstande sein, eine gleichmässige Ladung der Batterie zu erreichen.

Der regulierbare Ladewiderstand hat den Zweck, beim Beginn der Ladung das Anwachsen des Stromes über die maximale Ladestromstärke zu verhüten, wenn die Maschinenspannung nicht soweit vermittelst des Nebenschlussregulators herabgedrückt werden kann.

In dem Maschinenstromkreis ist parallel zum Hauptschalter ein Minimalausschalter vorgesehen, um ein Zurückarbeiten der Batterie auf die Dynamo zu verhüten. Der Hauptschalter ist während des regelmässigen Betriebes geschlossen, es wird der Minimalausschalter nur während der Ladeperiode eingelegt.

Ein Voltmeter mit einem zweipoligen Vielfachumschalter erlaubt sowohl die Spannung der einzelnen Reihen, als auch die der ganzen Batterie, sowie die der beiden Maschinen zu messen.

In Fig. 25 ist der Schaltplan der von der Aktiengesellschaft-Elektrizitätswerke, vormals O. L. Kummer & Co., Dresden-Niedersedlitz, ausgeführten Anlage in Witten a/Ruhr gegeben.

Die vollständig ausgebaute Station besteht aus vier Maschinenaggregaten und einer Pufferbatterie, deren Aufladung ebenfalls in drei Reihen, jedoch vermittelst einer anderen Schalterkombination, als in Fig. 24 erfolgt.

Bei längeren Aussenstrecken würde der Spannungsabfall in der Leitung bei direkter Speisung von der Station aus durch den Fahrdraht die zulässige Grenze von 10 % überschreiten. Man muss deshalb in solchen Fällen entweder eine zweite Station vorsehen oder teuere Speiseleitungen legen, oder wenn der Verkehr auf diesen Strecken kein sehr lebhafter ist, den Strom durch eine Zusatzdynamo auf höhere Spannung bringen. Dieses letztere ist hier vorgesehen. Ein Motor m ist mit einer Dynamo u direkt gekuppelt; die beiden Maschinen besitzen gemeinsame Nebenschlussregulierung in der Weise, dass man, um beispielsweise höhere Spannung zu

erhalten, den Nebenschluss des Motors durch Rechtsdrehen des Hebels, also durch Einschalten von Widerstand, schwächt, dadurch eine höhere Umlaufszahl erreicht und zugleich die Erregung der Dynamo durch Ausschalten von Widerstand verstärkt.

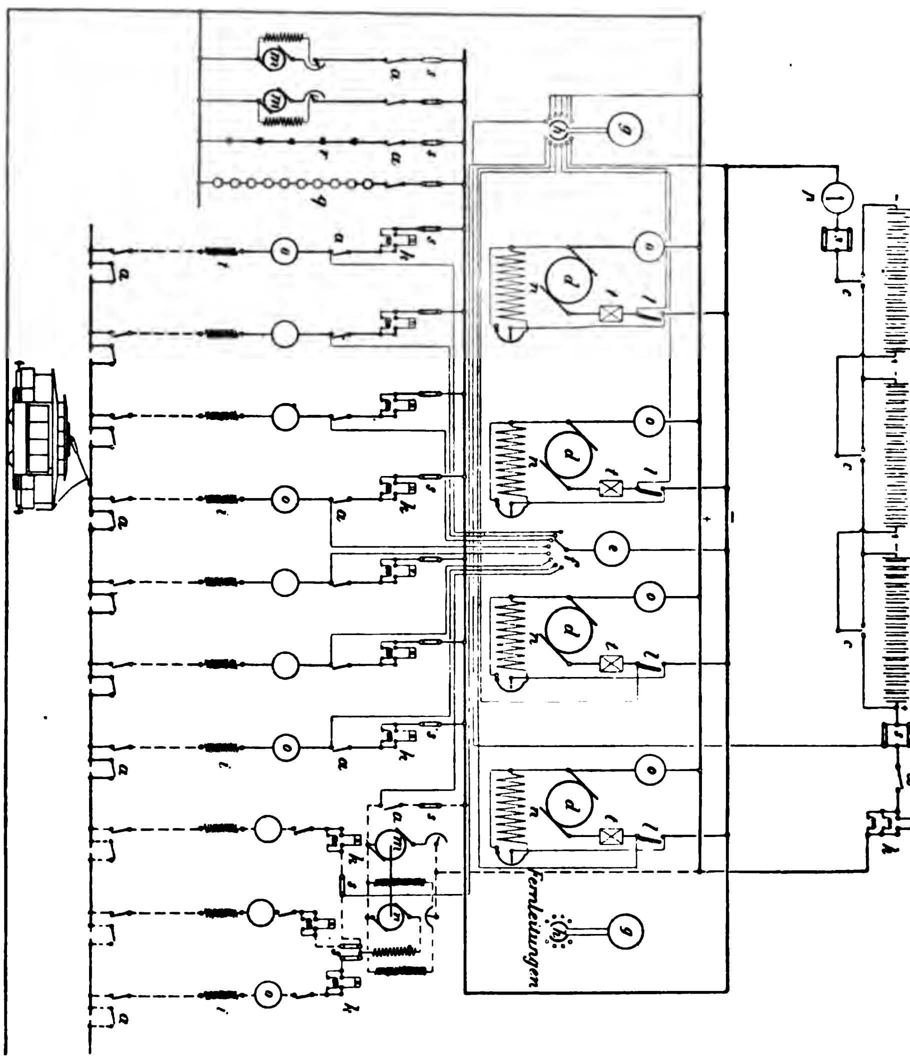


Fig. 25.

Aus den nachfolgenden Bezeichnungen ist die Anordnung der Apparate ohne weiteres erkennbar.

a Ausschalter, b Batterie, c Umschalter, d Dynamo, e Erdschlussanzeiger, f Erdschlussumschalter, g Spannungsmesser, h Spannungs-

umschalter, i Induktionsspule, k Starkstromausschalter, l Schwachstromausschalter, m Motor, n Nebenschlussregulator, o Strommesser, p polarisierter Strommesser, q Bogenlampen, r Glühlampen, s Sicherung, t Wattzähler, u Zusatzdynamo.

Der das Schaltbrett bedienende Beamte soll sowohl sämtliche Schalt-, Mess- und Kontrollapparate von seinem Standpunkt aus übersehen, als auch zu gleicher Zeit einen vollständigen Überblick über das Maschinenhaus bezw. die einzelnen Maschinen behalten. Es empfiehlt sich daher, die Schaltbühnen erhöht anzuordnen, sodass der Schaltwärter unbehindert die Thätigkeit des Maschinisten beim Ein- und Ausschalten, sowie beim Regulieren der Dampfmaschinen zu beobachten vermag. In jedem Maschinenhause wird sich bei einer Anordnung, die wenig Raum einnimmt, die Schalttafel erhöht aufstellen lassen.

Eine für Bahnschaltanlagen besonders günstige Anordnung der Schalttafel sei im folgenden erwähnt:

Durch Fig. 26 ist eine Säule dargestellt, welche sowohl den Spannungsmesser Sp der Dynamomaschine, als auch den des Netzes mit ihren Vorschaltwiderständen VW und den Umschalter U trägt, und welche durch eine besondere Glühlampe Gl erleuchtet ist. Diese Spannungsmessersäule muss so aufgestellt werden, dass von jeder Stelle einer langgestreckten Schaltanlage dieselbe übersehen werden kann. Sind die Spannungsmesser genügend gross, so kann die Entfernung der Spannungsmessersäule ebenfalls gross sein, event. verwendet man Spannungsmesser, welche an der Hinterwand transparent sind und die Stellung des Zeigers auch von hinten sichtbar machen. Die dünnen Spannungsleitungen bieten keine Schwierigkeiten, die Säule an einen beliebigen Platz zu stellen. In Fig. 27 ist eine kleinere gusseiserne Säule für die Unterbringung der Schalter, Stromzeiger, der Mess- und Regulierapparate dargestellt. Es ist hier gedacht, dass in Abständen von 2 bis 3 *m* die Säulen auf erhöhtem Podium aufgestellt sind, und dass dieselben durch U-Eisen, in der

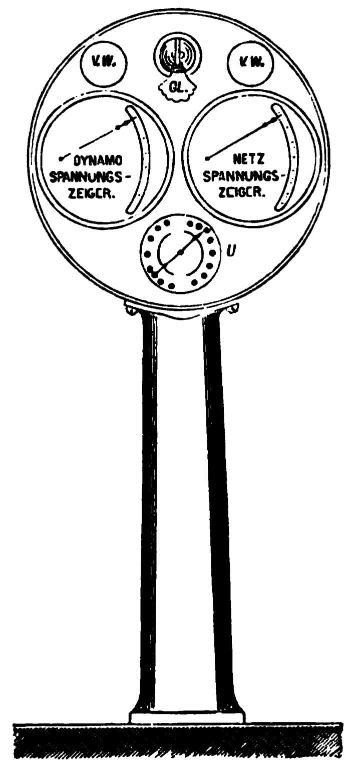


Fig. 26.

Figur als solche dargestellt, in ihrer Längsrichtung verbunden werden; zwischen diesen U-Eisen wird die Schiefer- oder Marmortafel in üblicher Weise befestigt. Auf den Marmortafeln werden die Schalter angeschraubt. Der nach oben gehende, an die Säule angegossene Arm trägt einen horizontalen Holzträger für die zu den Leitungen nötigen Strommesser, die zweckmässig ebenso wie die Spannungszeiger im Nebenschluss zur Hauptleitung messen und deshalb nur mittels dünner Leitungen angeschlossen werden. (Vergl. Präzisionsstrommesser von Siemens & Halske, Weston, Hitzdrahtstrommesser von Hartmann & Braun.) Innerhalb der gusseisernen Säule werden die Kabel von der Maschine bezw. nach den

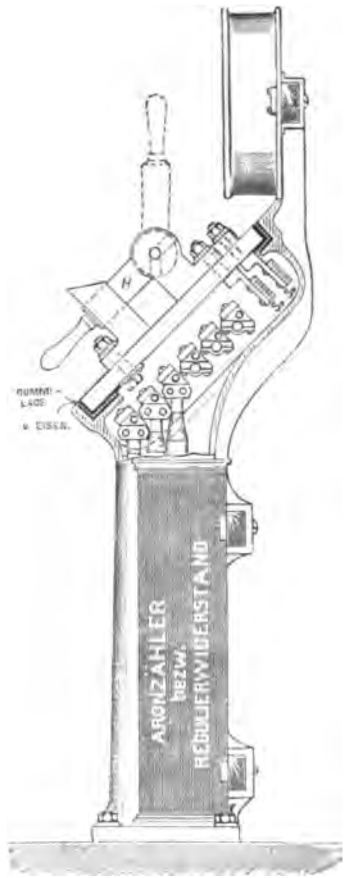


Fig. 27.

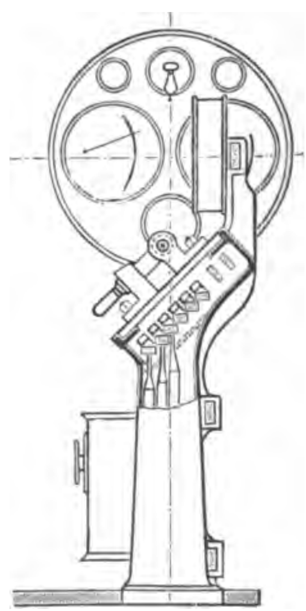


Fig. 28.

Strecken hoch geführt, sodass die Kabelanschlussstellen, wie die Figur zeigt, dicht hinter den Marmortafeln befestigt werden. Die mit Sa bezeichneten Sammelschienen gehen durch die ganze Länge des Maschinenschalttisches, welcher durch Fig. 27 im Vertikalschnitt dargestellt wird. Unterhalb der schrägliegenden Marmortischplatte bietet sich ein bequemer Raum zur Unterbringung

der Regulierwiderstände an dem Maschinenschalttische und der Kilowattzähler an den Streckenschalttischen, deren äussere Form natürlich die gleiche ist. Der Schalthebel H kann so ausgebildet werden, dass er zugleich die Bleisicherung in sich trägt, ähnlich wie man die Schalthebel für Hochspannungsanlagen ausführt. Bei grossen Schaltanlagen ist bekanntlich das Einsetzen der Bleisicherung während des Betriebes mit grossen Schwierigkeiten verknüpft. Durch diese Konstruktion von Schalthebeln ist man in der Lage, auch während des Betriebes eine durchgeschmolzene Bleisicherung durch Einsetzen eines in Bereitschaft liegenden neuen Schalthebels zu ermöglichen. Zu diesem Zwecke muss der Hebel den punktiert angedeuteten Schlitz erhalten, damit er zwischen den Backen der Schalterklammern sicher geführt wird.

In Fig. 28 ist die Anordnung der Schaltersäulen bezw. des Schaltertisches zur Spannungssäule schematisch angedeutet. Die vertikalen Mittelachsen sämtlicher Säulen befinden sich demnach in einer ebenen Fläche. Diese Fläche stellt die für die Projektierung der Schaltanlage massgebende Achse dar.

Als ein Vorteil dieser Anordnung kann es gelten, wenn man dem wachsenden Bedürfnis einer Bahn auch in der Schaltanlage so folgen kann, dass die symmetrische Disposition dieser Anlage durch Neubauten nicht beeinträchtigt wird. Der Schaltertisch kann in beliebiger Länge nach beiden Seiten, d. h. also sowohl nach der Seite der Maschinenschalttafel, als auch nach der Seite der Streckenschalttafel, verlängert werden. Hierbei ist angenommen, dass die Spannungsmessersäule den Mittelpunkt des Schalttisches einnimmt, und dass nach der einen Seite der Maschinenschalttisch, nach der anderen Seite der Streckenschalttisch angereiht werden. Natürlich kann man auch die Spannungsmessersäule an das Ende der Schalttische montieren und bei Erweiterung der Anlage dieselbe weiterrücken.

In Fig. 29 ist die nach ähnlichen Grundsätzen zusammengestellte Schaltwand des Kraftwerkes der Grossen Leipziger Strassenbahn bildlich dargestellt. Auch hier sind die Schalterhebel nicht an der vertikalen Wand befestigt.

Die neueren Schaltanlagen der Budapester Kraftwerke besitzen eine gleiche mustergültige Anordnung.

Die Stationsblitzableiter werden zweckmässig nicht in unmittelbarer Nähe der Schaltapparate angebracht, sondern an der Wand des Maschinenhauses. Da die meisten Blitzableiter auch für die Streckenausrüstung konstruiert sind, können die gleichen Apparate, für die Station verwendet, an der Aussenwand befestigt sein.

Dagegen müssen sich die selbstthätig wirkenden Starkstromausschalter immer im Bereich des Schaltwärters befinden.

Um ein zu starkes Anwachsen des Stromes zu verhindern, verwendet man nicht, wie im Lichtbetriebe, Schmelzsicherungen, sondern automatische Ausschalter. Bleisicherungen sind nur für den

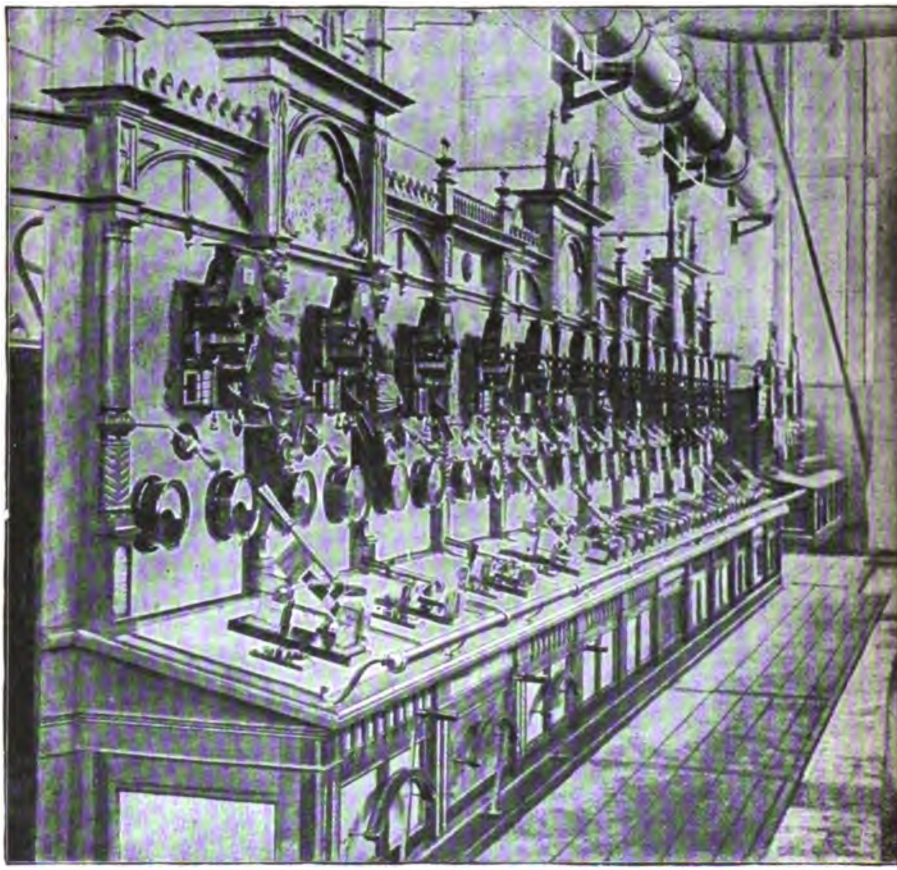


Fig. 29.

Fall vorgesehen, dass der Selbstausschalter versagt bezw. festbrennt. Dementsprechend wird deren Dimensionierung so gross gemacht, dass nur im Notfalle ein Durchbrennen erfolgt.

Der mit Funkenteilung und magnetischer Funkenlöschung versehene Starkstromausschalter, wie er von der Union Elektrizitäts-

Gesellschaft hergestellt wird, ist in Fig. 30a dargestellt und in seinem Stromlauf durch Fig. 30b erläutert.[1])

Wenn der Schalter eingelegt ist, berührt Bügel b die Flächen $a a_1$, c macht jedoch zuvor bei d d' Kontakt, sodass der Strom von F durch e, a, b, a_1 nach der Sammelschiene gelangen kann. Beim Ausschalten, d. h. bei Stromüberlastung in der Spule e, wird der Hebel h ausgelöst, wodurch das Segment b durch Federkraft abgezogen wird und zuerst bei $a a_1$ unterbricht. Dadurch erhalten die Magnete $M M_1$ den Hauptstrom und erzeugen ein, den alsdann

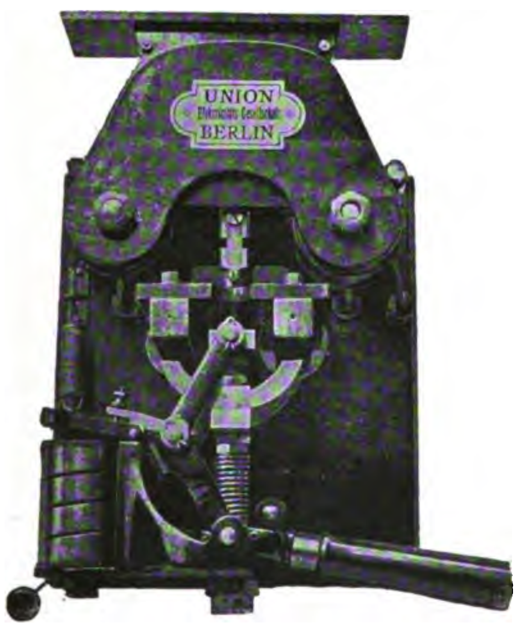


Fig. 30a.

zwischen $d c d_1$ auftretenden Unterbrechungsfunken ausblasendes Magnetfeld.

Kontaktflächen, die unter Spannung den Betriebsstrom unterbrechen sollen, lässt man am besten nicht aneinander gleiten, sondern voneinander abheben, um zu vermeiden, dass die Erwärmung der Flächen ein Festschmoren begünstigt.

Eine Vereinigung zwischen Handschalter und automatischem Schalter zeigt in der zeichnerischen Darstellung Fig. 31 und 32 der

[1]) Eine sehr eingehende Beschreibung dieses Ausschalters hat F. Uppenborn in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Nr. 51, S. 1476 u. ff., gegeben.

Automat der Firma Helios, Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft in Köln-Ehrenfeld (System Stobrawa-Schiemann). Die Verbilligung des Apparates liegt darin, dass zwei bisher getrennt angefertigte Schalter zweckdienlich vereinigt sind. Mit einem einzigen Handgriff kann der ausgesprungene Schalter wieder eingelegt werden, ohne dass bei bestehendem Kurzschluss grössere Feuererscheinungen

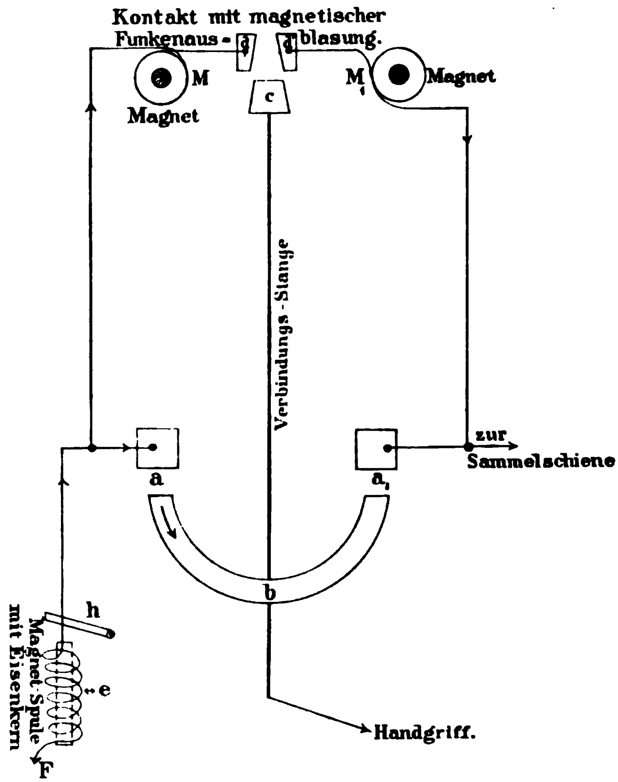


Fig. 30b.

beim Ausschalten auftreten, als dieselben der normalen Betriebsstromstärke des durch den Automaten gesicherten Stromkreises entsprechen.

Bekanntlich können Schalter, Maschinen und Leitungen, wenn sie unter Kurzschluss eingeschaltet werden, Beschädigungen ausgesetzt sein, ebenso wie der den Schalter bedienende Mann durch die auftretenden Feuererscheinungen gefährdet werden kann. Es liegt daher nahe, den Schalter so zu konstruieren, dass bei der ersten

bezw. letzten Schalterstellung ein hoher Widerstand vorgeschaltet ist, der nur eine begrenzte Stromstärke durchlässt. Diese wiederum muss genügen, um den Apparat sofort zur Auslösung bezw. den

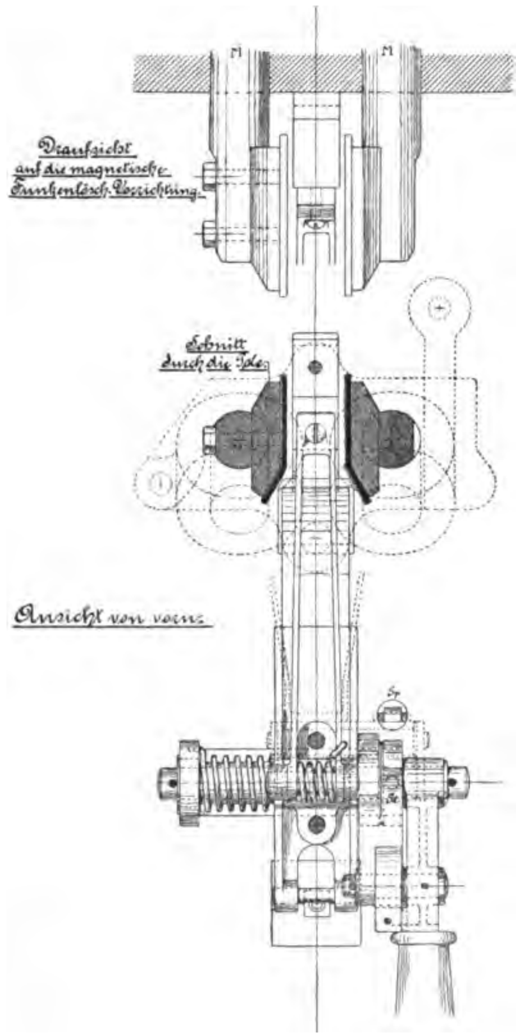


Fig. 31.

Elektromagneten zum Ansprechen zu bringen, ehe zu dem hohen Widerstand der Kurzschluss parallel geschaltet wird. Die Anordnung zweier getrennter Schaltapparate ist hintereinander und es muss beim Wiedereinschalten erst der Hauptschalter geöffnet, dann der Automat

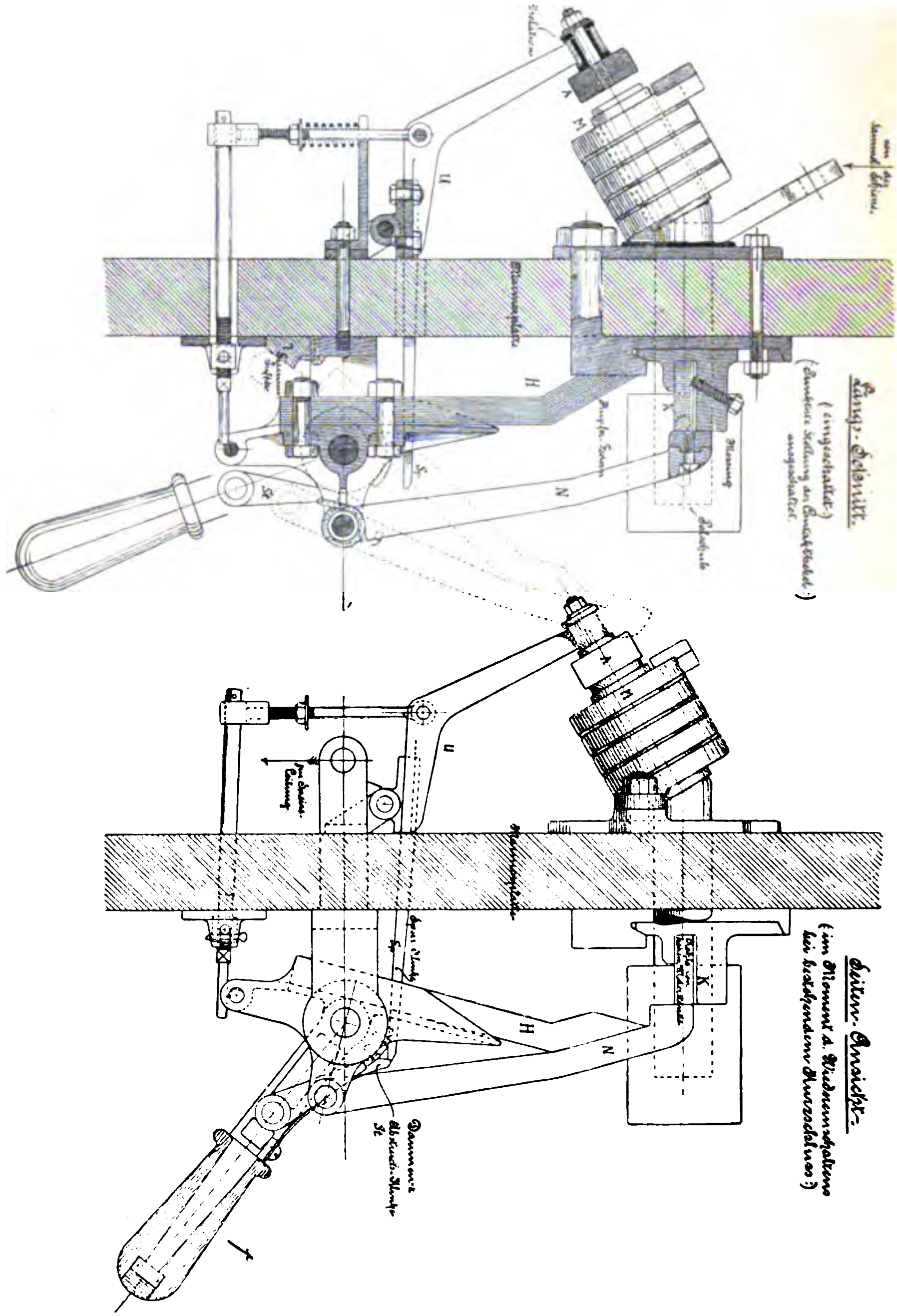


Fig. 32.

bei offenem Stromkreise eingelegt und schliesslich der Hauptschalter wieder geschlossen werden. Hierbei ist unvermeidlich, dass bei bestehendem Kurzschluss der Automat sofort unter grossen Feuererscheinungen wieder herausspringt. Das Spiel des Einschaltens und selbstthätig Wiederausschaltens wird sich nun so lange fortsetzen, als der Kurzschluss auf der Strecke besteht. Auf andere Art ist der Schaltwärter nicht in der Lage festzustellen, ob der Kurzschluss etwa behoben sein könnte, vielmehr würde dies wieder die Anbringung besonderer Kontrollapparate, welche unter Vorschaltung hoher Widerstände vor den kurz geschlossenen Stromkreis anzeigen, ob noch Strom in der Leitung ist oder nicht, erforderlich machen. Bei der hier vorliegenden Konstruktion ist es unmöglich, den Haupthebel H einzulegen, ehe nicht der Kurzschluss des Stromkreises behoben ist. Sobald nämlich beim Wiedereinlegen der Nebenhebel N den Kontakt K, welcher hohen Widerstand besitzt, berührt, zieht der Elektromagnet M bei einem mehr als normalen Stromdurchgang bezw. bei einem bestehenden Kurzschluss den Anker A rasch an und bewirkt durch die Hebelübersetzung U ein sofortiges Senken der Sperrklinke Sp. Durch Abstreichen der Abstreichkontakte St wird der Handgriff ausser Verbindung mit den Schalthebeln gebracht und ausserdem das sofortige Zurückschnappen der Schalthebel bewirkt. Der Kontakt K besteht deshalb aus Kohle von hohem Widerstand, weil es als zulässig erachtet werden muss, bei einer Stromstärke auszuschalten, welche die normale nur um weniges überschreitet. Die Feuererscheinungen entsprechen alsdann der angewendeten Spannung und der normalen Stromstärke, bei welcher der Apparat anspricht, während diejenigen Wirkungen vermieden sind, welche durch den unbegrenzten Kurzschluss hervorgebracht werden können. Wenn eine Akkumulatorenbatterie parallel zu den Betriebsmaschinen geschaltet ist, kann der Kurzschlussstromkreis verheerende Wirkungen nach sich ziehen, sofern die hier beabsichtigte Begrenzung unterbleibt.

Die Durchführung der begrenzten Stromstärke hatte zur Grundlage, dass es möglich war, auf einem kleinen Raume einen ohne irgend welche Isolationsschichten einzubauenden Widerstand anzuwenden. Dieser Widerstand musste auch eine hohe Stromstärke durchlassen. In einem besonderen Widerstandsmaterial konnten diese Bedingungen erfüllt werden.

Will man die Selbstausschaltung bei ganz geringen Stromstärken erreichen, so ist es nötig, den durch einen noch höheren Vorschaltwiderstand geschwächten Stromkreis auf einen zweiten besonderen, mit vielen Windungen versehenen Elektromagneten wirken zu lassen, welcher seinerseits wieder den Anker A in gleicher Weise anzieht.

Bedingung hierfür ist, dass alsdann der Widerstandskontakt von dem eigentlichen Hauptkontakt isoliert und nicht von dem Hebel N berührt wird, wenn der Hauptstromkreis durch N geschlossen wird.

Das Wesentliche des Selbstausschalters liegt indes nicht in der Anordnung des auslösenden Magneten, sondern neben der Widerstandsvorschaltung in der Art der Klinken- und Daumenselbstsperrung, die ein Wiedereinschalten bei bestehendem Kurzschluss unter Vermeidung eines besonderen Handschalters verhindert, wobei es gleichgiltig ist, von welchem Stromkreise der Elektromagnet erregt wird. In der Praxis wird man zu Gunsten der Einfachheit auf die doppelte Anordnung von Elektromagneten verzichten.

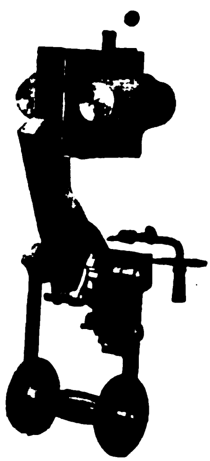


Fig. 33 a.



Fig. 33 b.

Dass die Schenkel des Elektromagneten in ihrer Verlängerung dazu ausgenutzt sind, ein magnetisches Ausblasefeld an der Trennstelle der Kontakte zu bewirken, ist eine selbstverständliche Folge geschickter Anordnung. Die ganze Bauart des Apparates kann kompendiös gehalten werden, wodurch auch eine wesentliche Preisverminderung und Platzersparnis der Schaltanlage und Schalttafel möglich ist.

Fig. 33a und 33b zeigen den Helios-Schalter vor und hinter dem Schaltbrett.

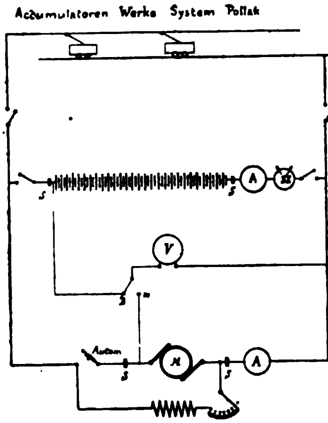
II. Stationäre Akkumulatorenanlagen.

Dieselben finden wegen ihrer guten ausgleichenden Thätigkeit und Eigenschaft als Ausgleich- oder Pufferbatterieen und der ständigen Betriebsbereitschaft als Kapazitäts-, Rückhalts- bezw. Speicherbatterieen beim direkten Bahnbetrieb Anwendung. Der Gedanke, dass Akkumulatoren sich für diesen Zweck besonders eignen, soll zuerst von dem verstorbenen Ingenieur Reckenzaun ausgesprochen worden sein, und zwar in einer Diskussion in der Institution of Civil Engineers im Jahre 1892.

Wenn man in Betracht zieht, dass bei kleinen Kraftwerken die Schwankungen der stationären Maschinen zwischen der Null- und Maximalleistung oftmals innerhalb einer Minute erfolgen, wenn man anderseits in Rücksicht zieht, dass der Betrieb innerhalb gewisser

Tagesstunden schwach ist (morgens, abends, nachts), und dass die Maschinenleistung für den grössten Verbrauch eingerichtet sein muss, so kann man sich wohl denken, dass ein wirtschaftlicher Vorteil bei der Anwendung stationärer Akkumulatorenbatterien möglich sein muss, wenn zu den Zeiten schwachen Verkehrs die überschüssige Dampfmaschinenleistung in einem stromsammelnden Reservoir aufgespeichert werden kann. Die hierzu tauglichen Batterien dienen zugleich dazu, die momentan wechselnde Belastung der Stromlieferung auszugleichen, ähnlich wie Windkessel an Pumpen, indem bei plötzlicher schwacher Belastung der Strecke die an der normal arbeitenden Dampfmaschine zur Verfügung stehende überschüssige Energie von der Batterie selbstthätig aufgenommen und bei plötzlich grösserer als normaler Beanspruchung der Strecke wieder selbstthätig abgegeben wird. Aus dieser Thätigkeit hat man den Batterien den Namen Pufferbatterien, Ausgleichbatterien gegeben, obgleich die »puffernde« Wirkung nicht immer die Hauptwirkung geworden ist.

Accumulatoren Werke System Pollak



Schaltungsschema für eine Pufferbatterie.

Fig. 34.

Ein von den Akkumulatorenwerken Pollak-Frankfurt a. M. gegebenes und allgemein gültiges Schema für Pufferbatterien ist in Fig. 34 dargestellt. Die Anordnung und der Zweck der Apparate ist aus der Zeichnung ersichtlich. A bedeutet Stromzeiger, V Spannungszeiger, Sz Stromrichtungszeiger.

Die Kohlenersparniss infolge der gleichmässigen Maschinenbelastung beträgt alsdann 25—30% (soll sogar schon bis 40% betragen haben!) bei Anlagen, deren Grösse für Anwendung solcher Pufferbatterien geeignet ist. Ausser dieser Kohlenersparnis, welche mitunter die Beschaffuug der Batterie nahezu deckt, ergeben sich noch die folgenden Vorteile: 1. Verkürzung der Betriebszeit, indem man morgens die ersten und abends die letzten Wagen unter Stillstand der Betriebsmaschinen allein aus der Batterie speist; 2. geringere Reparaturen an den Maschinen infolge der gleichmässigen Beanspruchung derselben; 3. Momentreserve und damit grosse Betriebssicherheit, da die Batterie jederzeit, ohne dass irgendwie eine Vorrichtung dazu nötig wäre, sofort den ganzen Betrieb während einer entsprechenden Zeit übernimmt, wenn die Betriebsmaschinen aus irgend einem Grunde ausser Thätigkeit kommen. Eine besondere Schaltungs-Anordnung zu diesem Zwecke wird durch eine der A.-G.

Siemens & Halske-Berlin patentierte Einrichtung erläutert, deren auszugsweise Beschreibung hier folgt. (Fig. 35.) Anwendung hat diese Schaltungsweise in Remscheid gefunden.

Zu dem angegebenen Zweck wird parallel zu den Betriebsmaschinen B eine Sammelbatterie A geschaltet, in deren Stromzweig eine Zusatzmaschine Z eingefügt ist. Die Schenkel E und F der letzteren werden durch den schwankenden Betriebsstrom und durch einen von der Sammelbatterie allein abgezweigten Strom so erregt, dass beide Erregerströme einander entgegenwirken, d. h. dass beim Anwachsen des Betriebsstromes die elektromotorische Kraft der Zusatzmaschine in dem einen Sinne, bei der Abnahme des Betriebsstromes dagegen im anderen Sinne beeinflusst wird, sodass bei Veränderungen des Betriebsstromes sofort selbstthätig eine entsprechende grössere oder geringere Beanspruchung der Sammelbatterie bewirkt wird. Bei der Durchführung dieses Verfahrens kann sich leicht der Übelstand ergeben, dass der Raum, welcher zur Aufnahme der Schenkelwickelung der Zusatzmaschine erforderlich wird, so gross ausfällt, dass die ganze Zusatzmaschine mit Rücksicht auf diesen Umstand erheblich grösser angenommen werden muss, als es der auf sie entfallenden Leistung entsprechen würde.

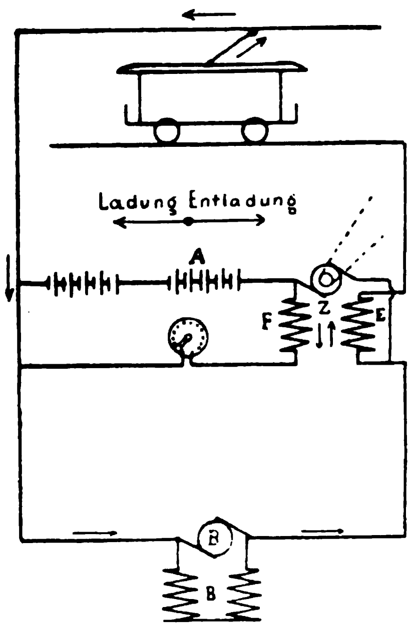


Fig. 35.

Dieser Schwierigkeit wird dadurch begegnet, dass für die Erregung der Zusatzmaschine eine besondere Erregermaschine aufgestellt wird, deren Schenkel nach der im Hauptpatent angegebenen Vorschrift geschaltet werden.

Fig. 36 stellt schematisch die abgeänderte Schaltung, S die besondere Erregermaschine dar. Eine Anlage nach ähnlichem System ist die elektrische Bahn Zürich-Hirslanden, näher beschrieben in der ETZ 1894, S. 356 ff., bei welcher aber ein Zellenschalter zur Spannungsregulierung der Pufferbatterie benutzt wird.

Es ist sicherlich nicht als ein Vorteil zu bezeichnen, dass komplizierte Schaltungen und gar Zellenschalter angewendet werden müssen, um bei Ladung und Entladung in engen Spannungsgrenzen

bleiben zu können. Die theoretische Betrachtung dieser Frage weist aber darauf hin, mit höherer Spannung zu laden und mit niederer Spannung zu entladen, da jede Zelle im Ladezustande 2,4 Volt braucht, im Entladezustande aber nur 1,9 Volt herausgiebt. Die Praxis hat nun diese Anschauung widerlegt, denn die bereits erwähnte Anlage in Hirslanden wurde sehr bald für unmittelbare Parallelschaltung der Batterie zu der Betriebsmaschine ohne jedwede Spannungsregulierung umgewandelt. Nur für das täglich einmal stattzufindende Aufladen der Batterie, behufs Erhaltung derselben in gutem Zustande,

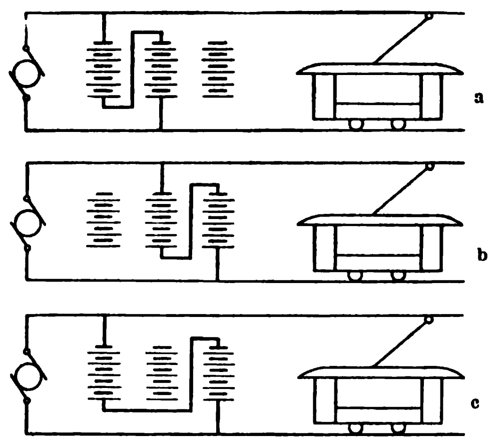


Fig. 37.

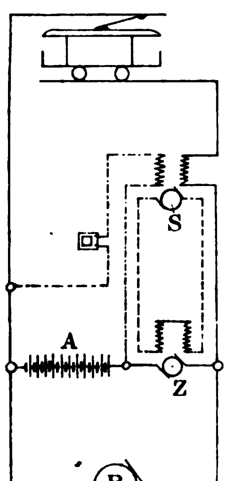
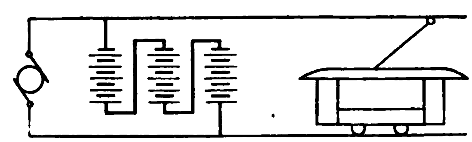


Fig. 36.


Fig. 38.

bleibt noch eine spannungserhöhende Vorrichtung (Zusatzdynamo, Zellenschalter, Dreireihenschalter) erforderlich.

Heutzutage sind die meisten Pufferbatterien auf der in Hirslanden gefundenen Grundlage aufgebaut und bewähren sich bei ihrer grossen Verbreitung überall da, wo die Verhältnisse ihre Verwendung rechtfertigen.

Der Dreireihenschalter wird durch Fig. 37a, b, c in den drei nacheinander vorzunehmenden Ladeschaltungen dargestellt, während Fig. 38 die Entladeschaltungen zeigt. Jede der drei Batteriereihen enthält 91 Zellen, um für die aufgeladene Batterie die Betriebsspannung von etwa 520 Volt zu erzielen.

Über die Behandlung der Pufferbatterien siehe: »Taschenbuch für Monteure elektrischer Strassenbahnen«, Verlag Oskar Leiner, S. 77 ff.

Die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft Berlin hat durch einen Vortrag ihres Oberingenieurs und Direktors Schröder (abgedruckt in der ETZ 1896, Heft 53) über die im Betrieb befindlichen Batterien berichtet. Die Vorgänge im Akkumulator beim schnellen Laden und Entladen begünstigen hiernach die Vereinfachung, mit den höheren Lagen der Betriebsspannung die Batterie direkt zu laden und bei den niederen dieselbe wieder direkt ins Netz zurückarbeiten zu lassen. Das für die Pufferung ausgenutzte Stück der Lade- und Entladekurve passt sich momentan den Schwankungen der Betriebsspannung an und gleicht die sonst bei kleinen Bahnnetzen beobachteten spitzen Kurven zu schwach und allmählich schwingenden Wellenkurven aus.

In der Anlage Meckenbeuren-Tettnang (vergl. II. Band, Kap. XIII, 3, S. 198) reichte nach Vergrösserung des Betriebes die ursprünglich vorgesehene Betriebskraft nicht mehr aus, um zwei Züge bergan fahren zu lassen. Nach Aufstellung einer Pufferbatterie ist dies möglich geworden. Das Gesamtgewicht beider Züge betrug 93 *t*, die Spannung schwankte zwischen 620 und 655 Volt. Das Aufladen der Batterie kann bei dieser Bahnanlage in den Zwischenpausen, welche die beiden Züge dem Betriebe lassen, erfolgen.

Bei der 8,94 *km* langen elektrischen Bahn in Teplitz ist eine Batterie von entsprechender Stärke in der von der Bahncentrale etwa 5 *km* entfernten Endstation aufgestellt. Hierbei ist der Vorteil erzielt, dass die Batterie nicht nur zur Entlastung der Bahnmaschinen dient, sondern auch die Spannungsverluste in den Bahnleitungen vermindert. Die elektrische Bahn in Teplitz führt von der Centralstation in Turn aus in andauernder Steigung bis nach Ober-Eichwald, es ist daher bei der Bergfahrt eine besondere Strominanspruchnahme vorhanden, und es würde der Spannungsverlust in den Bahnleitungen, wenn die Batterie in der Centrale aufgestellt wäre, um so bedeutender werden, je näher die Züge zu ihrer Endstation gelangen. Da aber die Batterie in der Endstation selbst aufgestellt worden ist, wurde bewirkt, dass das Stromerfordernis der Züge, so lange sie nicht zu weit von der Centralstation sind, zum überwiegenden Teile von den Bahngeneratoren bestritten wird, dass jedoch gerade mit Rücksicht auf die Zunahme des Spannungsverlustes mit der Entfernung diese Strominanspruchnahme der Bahngeneratoren immer mehr abnimmt, je weiter sich die Züge entfernen, und desto mehr wird die Akkumulatorenbatterie zur Stromversorgung herangezogen. Man kann dadurch erreichen, dass während der Bergfahrt nahezu

auf der ganzen Strecke an den Wagenmotoren beinahe konstante Spannung herrscht, was für die Funktion und Leistungsfähigkeit derselben nur von Vorteil ist.

Es ist weiter bemerkenswert, dass — während sonst Bahndynamos, welche mit einer Akkumulatorenbatterie in Parallelbetrieb arbeiten sollen, als Nebenschlussmaschinen auszurüsten sind — in dem vorliegenden Falle eine solche Umgestaltung der bereits vorhandenen Compoundmaschine nicht notwendig war. Es wird nämlich die Akkumulatorenbatterie auf einer viel niedrigeren Spannung gehalten, als es die Betriebsspannung der Maschine ist, sodass unter normalen Verhältnissen ein Rückstrom von der Batterie in die Maschine nicht möglich ist. Für den Fall jedoch, dass durch eine maschinelle Störung die Umdrehungszahl der Bahndynamos beträchtlich sinken würde, könnte ein Rückstrom aus den Akkumulatoren in die Bahnmaschine gelangen; allein so lange dieser Rückstrom nur ein mässiger ist, würde dadurch keine Ummagnetisierung der Bahndynamos erfolgen, weil die magnetisierende Wirkung der Nebenschluss-Wickelungen jene der Compound-Wickelungen bedeutend überwiegt. Eine solche Ummagnetisierung könnte nur bei ausserordentlich hohen Stromstärken erfolgen, wogegen durch Einschaltung eines automatisch wirkenden Maximalstromausschalters Vorsorge getroffen ist.

Die geringe Wartung, welche die Batterie an der Endstation erfordert, kann durch das beim Bahnbetriebe sonst verwendete Personal besorgt werden, und es ist eigentlich nur erforderlich, dass allabendlich nach Schluss des Bahnbetriebes eine Nachladung der Batterie erfolgt, damit sie auch während der Nachtzeit nach dem Einstellen der Bahnmaschinen den für die Beleuchtung der Räume der Centralstation nötigen Strom liefere.

Mit dieser Einrichtung wurden bisher die besten Erfahrungen gemacht, und wurde insbesondere bemerkt, dass seit Aufstellung der Batterie die elektrischen Züge auf den bedeutenden Steigungen nach Ober-Eichwald viel leichter befördert werden, und dass man trotz der stetigen Zunahme des Verkehrs — welche zur Folge hat, dass zu gewissen Zeiten mehrere Züge gleichzeitig auf der Bergfahrt begriffen sind — der Notwendigkeit enthoben war, eine Verstärkung der Bahnleitungen, die sonst ohne Benutzung der Batterie unbedingt erforderlich gewesen wäre, vorzunehmen.

In England sind zwei elektrische Bahnen in Betrieb, wobei in einem Fall in der Centrale, im anderen auf der Strecke eine Pufferbatterie angewendet wird. In Amerika wurde dieser Gedanke sogar in sehr grossem Massstabe ausgeführt. Die elektrische Bahn in Philadelphia, welche 800 *km* Gleise umfasst, ist mit einer Pufferbatterie von 400 PS ausgerüstet.

Ein ausgedehntes und vielstrahliges grosses Bahnnetz kann diese Ausgleichung gut entbehren, da durch eine grosse Wagenanzahl die wechselnde Beanspruchung in minimalen und rentablen Grenzen sich bewegt. Bedenkt man, dass Batterien teuer sind und als Kapazitätsbatterien unökonomisch arbeiten, so wird man, wenn nicht ganz bestimmte Gründe für eine derartige Anlage sprechen, ganz darauf verzichten.

Handelt es sich darum, eine kleine Beleuchtungsanlage mit der Bahn zu verbinden, so liegt nichts näher, als die am Tage zum Ausgleich der Bahnschwankungen dienende Batterie mit so viel Überschuss an Stromansammlung zu versehen, dass während der Beleuchtungsstunden die Batterie von der Bahn abgeschaltet und zur Stromabgabe für die Beleuchtungsanlage benutzt werden kann.

Wenn eine solche Batterie für eine grosse Entladestromstärke eingerichtet ist, so kann dieselbe zweckmässig auch auf kurze Zeit ein Maschinen-Aggregat ersetzen, wenn z. B. die eine Betriebsmaschine defekt geworden oder heiss gelaufen ist und die Ersatzmaschine noch angewärmt und angelassen werden muss.

Über die Berechnung von Pufferbatterien giebt L. Schröder in der ETZ, 1899, Heft 5, theoretische und Erfahrungs-Daten. Er kommt hierbei zu dem Schluss, dass die normale Ladestromstärke einer Pufferbatterie, welche eben immer zugleich Kapazitätsbatterie sein wird, gleich der mittleren Stromabgabe einer Betriebsmaschine sein muss. Die mit den Batterien parallel geschalteten Maschinen soll man aus wirtschaftlichen Gründen nicht für die grösste, durch Fahrplan und Gelände bestimmte Leistung beschaffen, sondern es soll auch hierfür die mittlere Leistung die zweckmässigere sein. Die alsdann billigeren Maschinen decken zum grossen Teil den Anschaffungswert der Batterien.

Bei kleinen Anlagen kann die augenblickliche Leistung Null werden, sodass die Grösse der Akkumulatorenbatterie so zu treffen ist, dass die mittlere Dynamoleistung, also jetzt die Normalstromstärke, als Ladung auf die Batterie einwirken kann. Der höchste zulässige Ladestrom verhält sich zum höchsten zulässigen Entladestrom wie 3 : 5, sodass alsdann auch der Entladestrom immer genügen wird. Dieser höchste zulässige Entladestrom deckt sich bei Pufferbatterien gleichzeitig mit dem Strome, den die Batterie während einer Stunde abzugeben in der Lage ist, um als Betriebsreserve einspringen zu können.

Bei grossen Anlagen fallen diese Betrachtungen nur sehr gering ins Gewicht.

Wenn nicht besondere Verhältnisse vorliegen, wie in Teplitz (wie vorher beschrieben), ist es erklärlich, dass sich für den Parallel-

betrieb mit Pufferbatterien Nebenschlussmaschinen mit stark abfallender Charakteristik am besten eignen und dass eine ideale Compoundmaschine die Pufferwirkung hinfällig macht. Der durch die Mitwirkung einer Pufferbatterie bedingte Nutzeffekt ist um deswillen hoch, weil nur wenig Energie eingenommen und ausgegeben wird. Als Kapazitätsbatterie gebraucht ist der Nutzeffekt der Batterie natürlich der übliche.

Einen weiteren Beitrag zur Berechnung von Pufferbatterien giebt G. Brandt in der ETZ, 1899, Heft 42, S. 730.

Um die grossen Pufferbatterien gänzlich zu vermeiden, hat Mr. S. C. C. Currie (Amerika) folgende Einrichtung angewandt:

Er kuppelt mit der stromerzeugenden Dynamomaschine eine zweite, welche bei geringer Stromstärke im Netz als Dynamo arbeitet und eine Akkumulatorenbatterie ladet, bei grosser Stromstärke im Netz dagegen als Motor läuft und hierfür den benötigten Strom aus der Batterie entnimmt, somit also die Betriebsdynamo mit der Dampfmaschine gemeinschaftlich antreibt. Um diesen Wechsel der Thätigkeit der Zusatzdynamo zu erzielen, konstruierte er diese Maschine als Verbundmaschine, und lässt sie ihre Nebenschlusswickelung selbst erregen, während die Hauptstromwickelung von dem Betriebsstrom erregt wird. Nebenschluss- und Hauptstromwickelung erregen das Feld aber in entgegengesetztem Sinne, und es entwickeln sich aus dieser Schaltung folgende Vorgänge:

Solange die Netzstromstärke gering ist, überwiegt die Magnetisierung durch die Nebenschlussspule und die Zusatzdynamo läuft als Erzeuger, ladet also die Batterie. Steigt aber die Netzstromstärke über einen gewissen Punkt, so wird das Feld der Zusatzdynamo, also auch ihre Klemmenspannung, geschwächt, und bei einem kritischen Punkte der Netzstromstärke überwiegt die Klemmenspannung der Batterie diejenige der Zusatzdynamo; die Batterie sendet also Strom in die letztere und treibt sie als Motor, dessen Leistung nunmehr dem jetzt höher beanspruchten Haupterzeuger zugeführt wird.

Die grosse Anzahl kleiner Anlagen mit Pufferbatterien verbietet eine Registrierung an dieser Stelle, dagegen ist es interessant, zu erfahren, dass auch sehr grosse Kraftwerke die wirtschaftliche Frage bei Beschaffung von Batterien hintenan gestellt haben und die Betriebssicherheit bestimmend sein liessen. So besitzt z. B. Hamburg eine Batterie mit 1630 Amp. bei 1stündiger Entladung, Berlin 3 Batterien mit zusammen 3770 Amp. während 1 Stunde, Leipzig 1480 Amp. für 1 Stunde, Dresden 1600 Amp. 1 Stunde, Nürnberg u. dergl.

12. Berechnung der Kraftstation.

Wenn man den ungünstigsten Augenblick des Fahrplanes in Betracht zieht und alsdann die Summe der Leistungen an den Motorwagen addiert, so erhält man die grösste Leistung für die Kraftstation unter Hinzurechnung der Nutzeffekte von Stromleitung und Dynamomaschinen. Bei normaler Beanspruchung bleiben diese Nutzeffekte in bekannten Grenzen, sodass man mit einem bestimmten Zuschlag zu der Gesammtsumme der Wagenleistungen rechnen kann.

Man thut indessen gut, sich für die Wagen eine mittlere Leistung heraus zu rechnen, was die Geschicklichkeit des projektierenden Ingenieurs für jeden besonderen Fall leicht übersehen wird, wenn die mittlere Geschwindigkeit, die mittlere Steigung und somit ein mittlerer Bremszuschlag bestimmt sind. (Die Berechnungen hierfür siehe Kapitel IV.)

Füllt man alsdann eine Tabelle aus, wie sie untenstehend dargestellt ist, so erhält man eine schnelle Übersicht über die Betriebsverhältnisse und die für das Projekt nötigen Unterlagen.

Um den in der Zeiteinheit (Sekunde) für alle Wagen zusammen erforderlichen mittleren Arbeitsbedarf einer Bahn zu bestimmen, hat man die Arbeit auszurechnen, welche erforderlich ist, um einen Wagen einmal über die ganze Strecke hin und einmal zurück zu führen. Die gefundene Arbeit ist alsdann durch die Betriebsintervalle in Sekunden zu dividieren.

№	Betriebs-Stärke von ... bis ...	Betriebslänge in *km*	Fahrzeit der Hin- und Rückfrt. in Minut.		Durchschn. Geschwindigk. ausschliessl. d. Streckenaufenthalte in *km/St*	Verkehrs-Intervalle (Wagenfolge) in Min.	Anzahl der Motorwagen		Anzahl der Akkum.-Wag.		Anzahl der Anhängewag.	
			ohne Endaufenthalt	mit Endaufenthalt			in Bewegung	im Betrieb	in Bewegung	im Betrieb	in Bewegung	im Betrieb

Es ist hierbei zu beachten, dass die Gewichtseinheiten eines Motorwagens die doppelten Kraftleistungen erfordern als die eines Anhängewagens, worüber im Abschnitt IV, 5, Berechnung der Motorwagen, nähere Angaben gemacht sind.

Zu der Summe der in Bewegung befindlichen Wagen ist es üblich, bei kleinen Anlagen ohne stationäre Batterien einen Zuschlag von 25 bis 30% zu machen, damit bei vorkommenden Betriebsschwankungen keine Überlastungen der Stromerzeuger und Dampfmaschinen eintreten können. Grössere Anlagen würden natürlich den Zuschlag ganz entbehren können.

Neben der tabellarischen Berechnung lässt sich auch die höchste und mittlere Leistung graphisch ermitteln. Zu diesem Zwecke trägt man unter dem Längsprofil der Strecke das Kurvenband und den graphischen Fahrplan auf, projiziert die Schnittpunkte einer Zeitlinie auf das Längsprofil und stellt den in jeder Steigungs-, Gefälls- und Horizontalstrecke ermittelten Arbeitsverbrauch zusammen. Auf der Höhenkurve sowohl, wie auf dem Kurvenband müssen vorher die positiven und negativen Arbeitsleistungen eingetragen sein.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass schon nach einjährigem Betriebe jede Kraftstation erweitert werden muss, um den wachsenden Bedürfnissen der Bahnanlage genügen zu können. Es ist daher bei Projektierung der Kraftstation von vornherein mit dieser Thatsache zu rechnen und Raum für Gebäude-Erweiterungen vorzusehen.

Grösse, ausgedrückt in behördlich genehmigten Plätzen						Gewicht der			Anzahl der Wagenkilometer im Jahre
Motorwagen		Akkumulator-Wagen		Anhänge-wagen		Motor-Wagen	Akkumul.-Wagen	Anhänge-Wagen	
Sitzpl.	Stehpl.	Sitzpl.	Stehpl.	Sitzpl.	Stehpl.				

III.

Stromfortleitung.

Um den in der Kraftstation erzeugten elektrischen Strom wieder in Arbeit umwandeln zu können, muss derselbe den Wagenmotoren zugeführt werden. Dies geschieht durch:

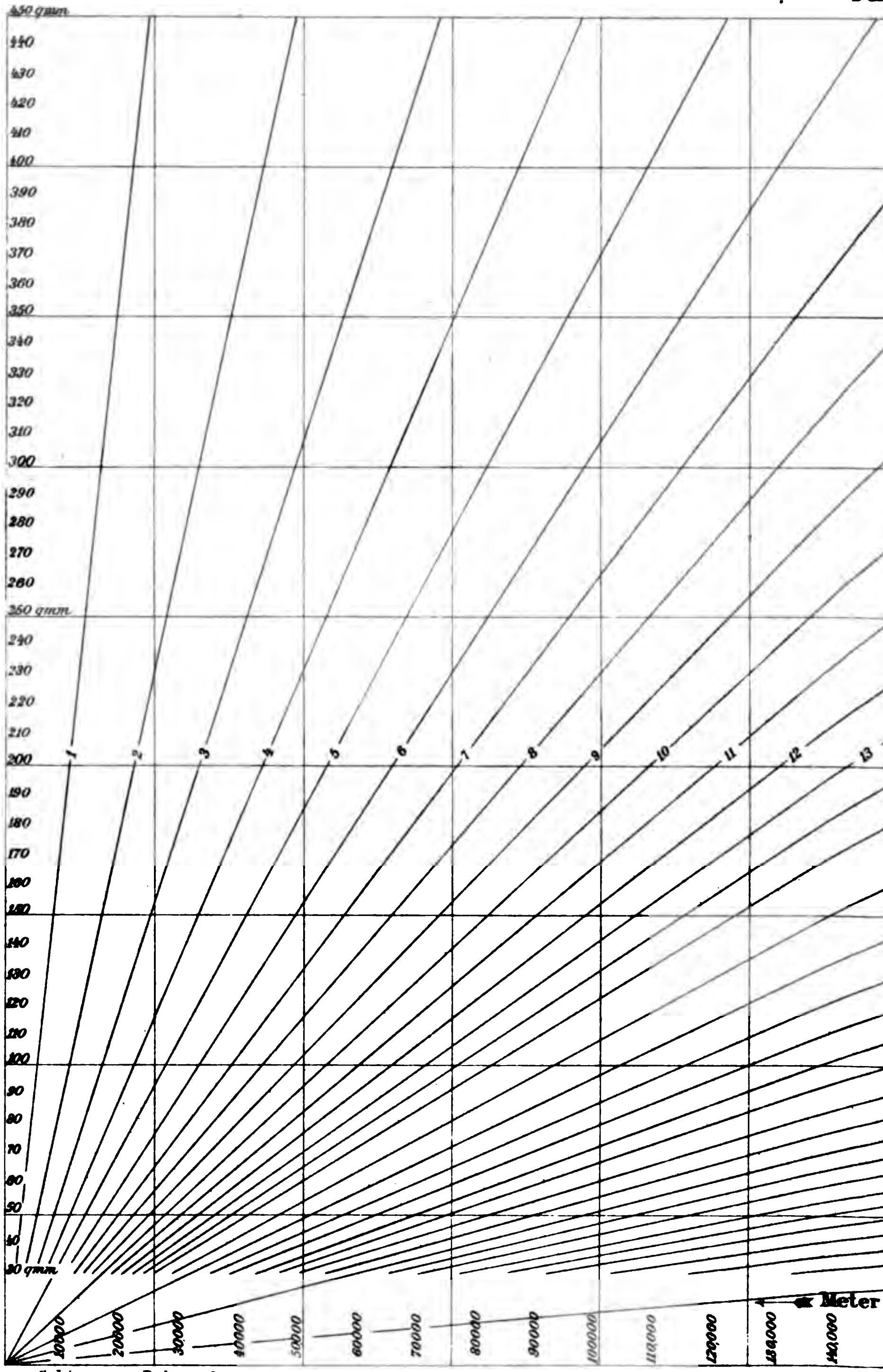
1. besondere Speiseleitungen,
2. die Fahrschienen,
3. oberirdisch geführte Fahrleitungen,
4. unterirdisch geführte Fahrleitungen,
5. transportable Stromsammler.

1. Speiseleitungen und Berechnung der Leitungsquerschnitte.

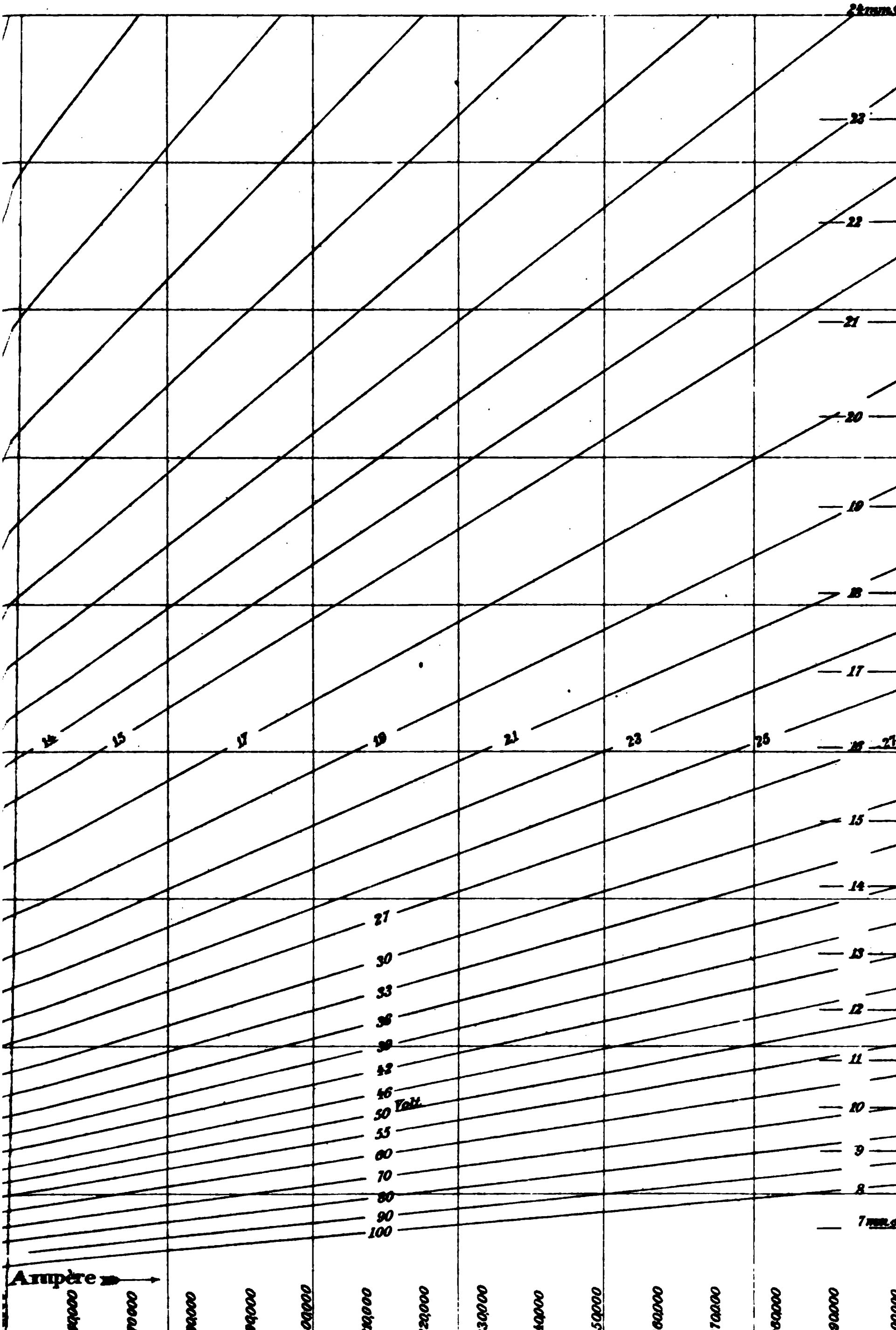
Bei grösserer Entfernung zwischen Bahn und Kraftstation oder bei starkem Verkehr auf einer Linie machen sich Speiseleitungen nötig, die man dazu benutzen kann, Teilstrecken gesondert zu speisen. Man erhält so die Möglichkeit, Störungen einer Teilstrecke auf diese zu beschränken. Bei grosser Länge der Teilstrecken können die Speiseleitungen von einander stets getrennt bleiben, da auf der Strecke selbst ein genügender Ausgleich erfolgt, und die Speiseleitungen annähernd gleichmässig belastet bleiben. Bei kleinen Strecken jedoch, oder bei stark wechselnder Belastung ist eine Verbindung der Speiseleitungen untereinander vorzuziehen, welche nur ausnahmsweise durch Öffnen des angewandten Schalters unterbrochen wird. Man kann bei der Disponierung der Speiseleitungen auch hier eine möglichst günstige Ausnutzung des Leitungsquerschnittes erzielen.

Die Speiseleitungen können sowohl oberirdisch, als auch unterirdisch verlegte sein. Sie gelten als Speiseleitungen bis zu dem Punkte, in welchem sie in den Fahrdraht bezw. in die Fahrschiene einmünden. Ist die Speiseleitung oberirdisch verlegt, so benutzt man zumeist die Masten der Strassenbahn zu deren Befestigung mittels gewöhnlicher Porzellanisolatoren. Es empfiehlt sich, oberirdische Speiseleitungen als blanke zu verlegen, da leichte Isolations-

Ta


450 qmm
400
350
300
250 qmm
200
150
100
50
30 qmm
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
10000
20000
30000
40000
50000
60000
70000
80000
90000
100000
110000
120000
x Meter

'afel I.



Leipzig, Oskar Leiner.

m
se
si
A
st
ka
de
ir
zu
ka
E

Te
un
gr
Dr
Dr
zei
de

ve
ur
tei
an
ve
üb
an
Le
ab
en
die
In
re
ein
tei
sir
Fa
mi
m
we

de
(K

materialien, der Luft, dem Regen, Sonnenschein und Wind ausgesetzt, sehr bald verwittern, alsdann gar keinen Isolationswert mehr besitzen und schädlicher wirken, als blanke Leitungen, bei deren Anlage man von vornherein Rücksicht auf genügenden Abstand von stromableitenden Gegenständen nimmt. Bleiumhüllte isolierte Luftkabel sind ihres Gewichtes und ihres plumpen Aussehens wegen bei dem zierlich zu haltenden Bahngestänge zu vermeiden. Unterirdische Kabel sind als isolierte, eisenbandarmierte Bleikabel vorzusehen, die man eventuell noch in besonderen Eisen- oder Thonkanälen unterbringt, um im Bedarfsfalle weitere Kabel ohne viel Erdarbeiten zu den bereits vorhandenen legen zu können.

Beim Durchgang des Stromes durch einen Leiter wird stets ein Teil der aufgewendeten Energie in Wärme umgewandelt; letztere ist um so grösser, je länger die Leitung, je kleiner ihr Querschnitt, je grösser die Stromstärke und je geringer die Leitungsfähigkeit des Drahtes bezw. Kabels ist. Während also jede Leitung sich beim Durchgang des elektrischen Stromes mehr oder weniger erwärmt, zeigt sich am Ende der Leitung ein grösserer oder geringerer Abfall der Spannung gegenüber der Klemmenspannung an den Generatoren.

Um nun einerseits schädliche Erhitzungen der Zuleitungen zu vermeiden, anderseits den durch den Spannungsverlust verursachten technischen Schwierigkeiten und wirtschaftlichen Nachteilen zu begegnen, berechnet man den Querschnitt der Leitungen unter Zugrundelegung eines 10prozentigen maximalen Spannungsverlustes. Nur für aussergewöhnliche Fälle darf dieses Maximum überschritten werden, wenn es sich z. B. darum handelt, einen ausnahmsweise grossen Verkehr zu bewältigen, ohne deswegen teure Leitungen verlegen zu wollen. Der alsdann stattfindende Spannungsabfall muss indes noch gestatten, den fahrplanmässigen Betrieb bei entsprechend verringerter Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten und die Wagenglühlampen mit genügender Helligkeit leuchten zu lassen. Im allgemeinen wird der nach dem höchsten Spannungsabfall berechnete Querschnitt gegen Stromüberlastung gesichert sein. In vereinzelten Fällen kann es jedoch vorkommen, dass kürzere Leitungsteile mit mehr als zwei Ampère für das Quadratmillimeter belastet sind. Der frei in der Luft hängende und von bewegter Luft umgebene Fahrdraht kann kurze Zeit bis zu vier Ampère für das Quadratmillimeter Stromdurchgang ertragen, bei isolierten Speiseleitungen muss indes geeignete Abhilfe durch Zusatzleitungen vorgesehen werden, da sonst die Isolation leidet.

Der dem maximalen Spannungsverlust entsprechende Querschnitt der Leitung ist in üblicher Weise auf der betreffenden Kurventafel I (Kupfertafel) abzulesen. Auf dieser Tafel bedeuten die horizontalen

Linien den Querschnitt der betreffenden Leitung, bezw. den Durchmesser des Drahtes oder Kabels. Die vertikalen Linien geben das Produkt aus Betriebsstromstärke in Amp. und Entfernung der Entnahmestelle des Betriebsstromes in Metern an. Die Strahlen zeigen den Spannungsabfall in Volt. Der Bereich der Tafel genügt für die normal vorkommenden Rechnungen. Bei einem grösseren Rechnungsbereich kann man dieselbe Tafel benutzen, indem man den zu suchenden Wert mit einer Zahl dividiert und späterhin das Resultat mit derselben Zahl wieder multipliziert. Da der Querschnitt des Fahrdrahtes schon aus Festigkeitsgründen nicht unter 30 *qmm* genommen werden kann, ist dies als unterste Grenze angenommen worden. Der geringe Unterschied in der Leitungsfähigkeit des weichen Kupfers einer Speiseleitung und des hartgezogenen Kupferdrahtes bezw. Siliciumbronzedrahtes der Fahrleitung kann hier unberücksichtigt bleiben.

Die für den jeweiligen Spannungsabfall gefundenen Werte sind unter Zugrundelegung des spezifischen Kupferwiderstandes von 0,0185 berechnet nach folgender Formel:

$$E = J \cdot W = J \cdot \frac{0{,}0185 \cdot l}{q},$$

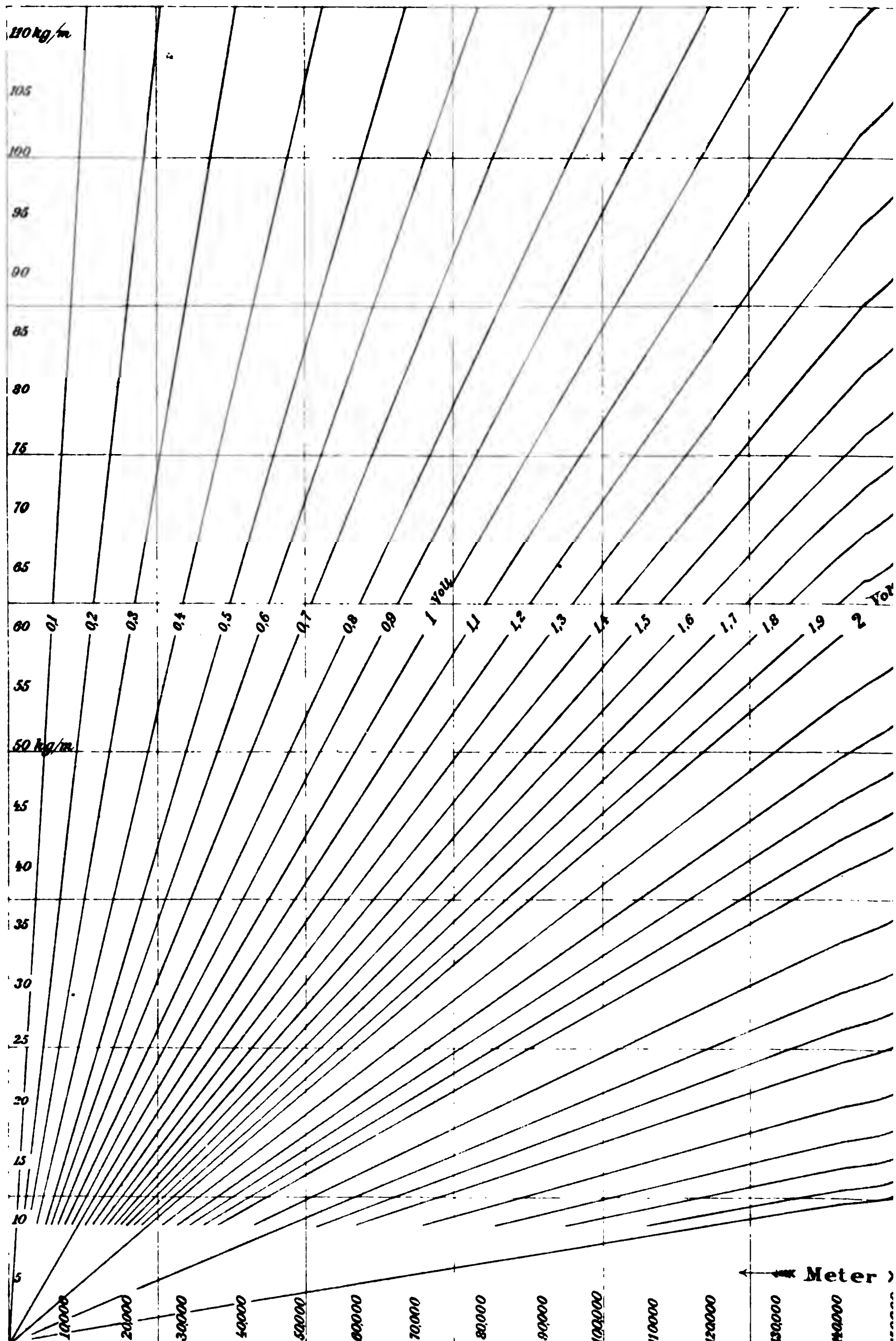
bezw.

$$q = \frac{J \cdot 0{,}0186 \cdot l}{E},$$

worin E = Spannungsabfall in Volt,
J = Stromstärke in Amp.,
l = Länge des Leiters in *m*,
q = Querschnitt des Leiters in *qmm* bedeutet.

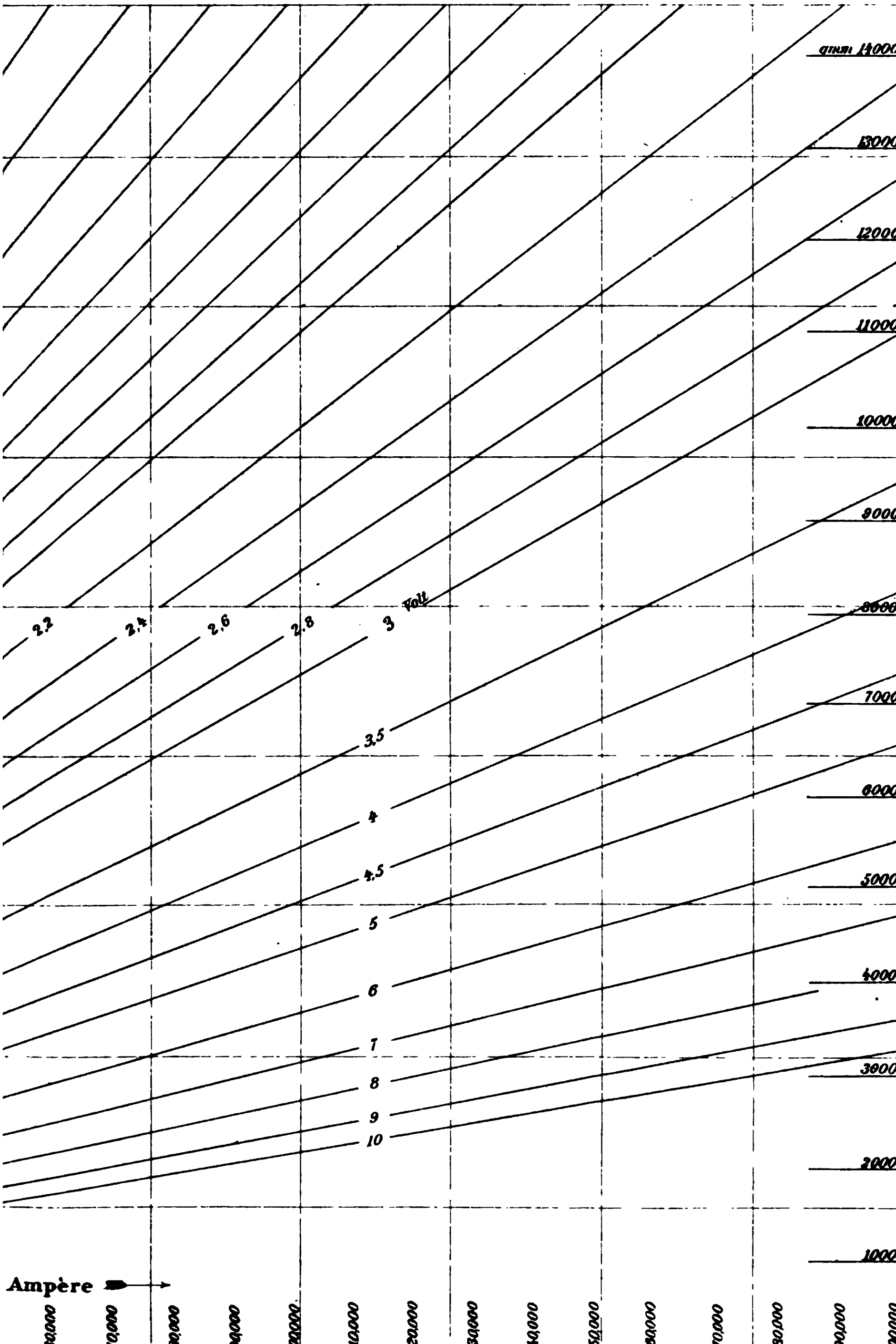
Der Betrieb erfordert es z. B. oft, dass ein von der Stromerzeugungsstelle weit entfernter Speisepunkt, an Sonn- und Festtagen so viel Strom erhalten muss, dass die vorhin gegebenen Bedingungen nicht mehr erfüllbar sind, d. h. dass der Spannungsabfall in der Speiseleitung zu gross wird. Speist diese Leitung nur den bezw. die entfernten Punkte des Netzes, so kann man in der Kraftstation eine Seriendynamo aufstellen, die am besten direkt von der Betriebsdampfmaschine u. dergl. angetrieben werden kann, und lässt den Betriebsstrom der Speiseleitung durch diese Dynamo hindurchgehen, welche entsprechend dem, auf der betreffenden Strecke gebrauchten Betriebsstrom die Spannung selbstthätig um so viel erhöht, als sie durch den Widerstand der Leitung abfällt. Die Magnetwickelung der Seriendynamo muss für diese Thätigkeit eingerichtet sein. In Fig. 39 ist die hier zu wählende Anordnung schematisch dargestellt. Es wird stets zu erwägen sein, ob der zeitweise Energieverlust in dieser Leitung mit seinem kapitalisierten Betrag unterhalb der Kosten für eine verstärkte Speiseleitung bleibt.

Ta



Schiemann, Bahnen I.

l II.



Leipzig, Oskar Leiner.

nor
n d
sda
omi
ewe
n v
ne

eis
n C
rm

ies
ann
ross

rfolg
eite
ddie
llein
nve
Abzw
ich
stelle
adu
deut
st,
den

Als eine dem wirtschaftlichen Effekt gleichwertig zu betrachtende Anordnung kann diejenige gelten, welche diese Seriendynamo nicht in der Kraftstation, sondern am Speisepunkt vorsieht. Hier muss alsdann ein besonderer Motor zum Antrieb dienen und erfordert somit Wartung, die bei der ersteren Anordnung ohne Mehrkosten bewerkstelligt werden kann. Das gleiche Speisekabel kann aber auch an vorherliegenden Stellen zur Speisung der Fahrleitung dienen, ohne dass die Betriebsspannung hierfür unnötig hoch wird.

Ist man in der Lage, Drehstrom zur Speisung entfernt liegender Speisepunkte zu verwenden, so wird der hochgespannte Drehstrom an Ort und Stelle mittels rotierender Drehstrom-Gleichstromtransformatoren in die benötigte Gleichstrombetriebsspannung gebracht.

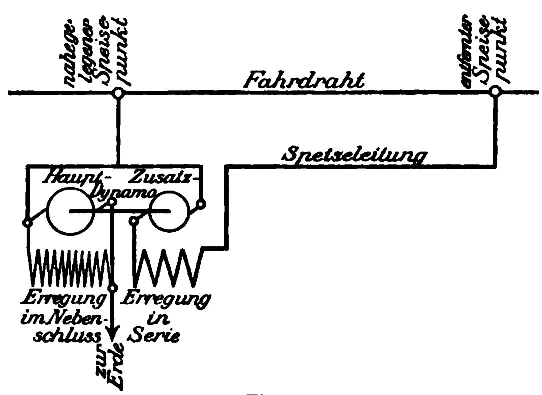


Fig. 39.

Dies bedingt aber ebenfalls besondere Unterstationen, welche erst dann wirtschaftlich sein können, wenn das Sekundärnetz genügend gross ist.

Da die Stromleitung bis zum Wagen auch durch die Fahrschienen erfolgt, so ist es erforderlich, den Spannungsabfall auch in diesem Leiter festzustellen und zu dem oben gefundenen Werte zu addieren. Man muss für diese Berechnung annehmen, dass nur allein die Schiene mit ihren elektrisch gut verbundenen Stössen die unverminderte Stromleitung übernimmt und dass die Erde keine Abzweigungen bietet. Es ist dies freilich der ungünstigte Fall; da sich aber rechnerisch die Leitungsfähigkeit des Erdbodens nicht feststellen lässt, muss man mit diesem ungünstigen Falle rechnen. Die dadurch entstehende Ungenauigkeit ist indes nicht von grosser Bedeutung, was aus der Kurventafel Nr. II (Schienentafel) zu ersehen ist. Der Leitungswiderstand der Laufschiene ist verschwindend gegen den Widerstand der Kupferleitungen.

Die für die Schienen übliche Bezeichnung erfolgt durch Angabe des Gewichtes in Kilogramm für das laufende Meter Schiene oder Gleis. Da für die Leitungsfähigkeit das Profil der Schiene vollkommen gleichgiltig, dagegen der fortlaufende Querschnitt des stromleitenden Gleises von Wichtigkeit ist, so ist in der folgenden Aufstellung von der Gewichtsbezeichnung ausgegangen worden, unter Weglassung derjenigen Teile, welche zur Befestigung dienen und nichts zur Vergrösserung des leitenden Querschnittes beitragen, wie z. B. Laschen, Schrauben, Spurhalter u. s. w.

1 *cbdm* Eisen wiegt 7,75 *kg*

1 *kg* Eisen = 0,129 *cbdm.*

Wird 1 *kg* Eisen bezw. Stahl zu einer Schiene von 1 *m* Länge ausgewalzt, so wird deren Querschnitt

$$= \frac{0,129}{10} = 0,0129 \; qdm = 129 \; qmm.$$

Der Widerstand dieser Schiene ist demnach

$$W = \frac{c \cdot l}{q} = \frac{0,11 \cdot l}{129} = 0,000853 \text{ Ohm}.$$

d. h. eine Schiene von 1 *kg* Gewicht und 1 *m* Länge hat 0,000853 Ohm Widerstand und bei 1 *km* Länge 0,853 Ohm.

Die für den jeweiligen Spannungsabfall gefundenen Werte sind unter Zugrundelegung des spezifischen Eisenwiderstandes von 0,11 berechnet nach folgender Formel:

$$E = J \cdot W = \frac{J \cdot 0,11 \cdot l}{q}$$

worin q den fortlaufenden Eisenquerschnitt bedeutet und $\frac{q}{129}$ das Gewicht der Schiene bezw. des Gleises in Kilogramm angiebt.

Auf der Tafel II bedeuten die Strahlen wieder den Spannungsverlust in Volt. Die horizontalen Linien geben das Gewicht der in Betracht kommenden Schiene in Kilogramm für das Meter, bezw. den fortlaufenden Eisenquerschnitt in Quadratmillimeter an. Die vertikalen Linien bedeuten das Produkt aus Betriebsstromstärke in Amp. und Entfernung der Entnahmestelle des Betriebsstromes in Metern. Der Bereich der Tafel genügt für den grössten vorkommenden Gleisquerschnitt. Die Strombelastung der Schiene findet ihre Grenze an der rationellen Strombelastung der Kupferleitung, darum genügt im allgemeinen das in die Tafel einbezogene Produkt aus Stromstärke und Entfernung für die Berechnung normaler Anlagen.

Um nun die graphische Leitungsberechnung in Einklang mit dem Betriebsfahrplan bringen zu können, empfiehlt es sich, auch

diesen graphisch herzustellen und eine geeignete günstige und eine ungünstige Inanspruchnahme durch eine Zeitlinie herauszugreifen. Überträgt man alsdann die Stellung der durch die Zeitlinie erhaltenen Wagen bezw. Züge auf den Höhen- und Lageplan der Bahnanlage, so erhält man für jede Stromentnahmestelle einen geeigneten Wert, der zur Konstruktion der Stromkurve dient.

Ordnet man den graphischen Fahrplan, den Höhenplan und Kurvenband, sowie die Stromkurven untereinander an, so erkennt man, dass das Produkt aus Stromstärke und Entfernung gleich einem Rechteck ist, welches für jede Stelle des Betriebsplanes leicht herauszugreifen ist. Der Spannungsabfall für die zu berechnende oder schon angenommene Leitung ist schrittweise festzustellen unter Berücksichtigung der in den Tafeln Nr. I und Nr. II angegebenen Werte.

Der Geschicklichkeit des projektierenden Ingenieurs muss es überlassen bleiben, das Kupfermaterial so zu verteilen, dass niemals zeitweise tote Strecken mit allzu grossen Querschnitten bedacht werden.

Das Thema der Stromverteilung ist in einem besonderen Werke von Bell-Rasch, Verlag von Springer und von Oldenbourg, eingehend behandelt worden. Unter Hinweis auf dieses Werk kann es hier unterbleiben, weiter in die Materie einzudringen, zumal auch die Stromverteilung einem allgemeinen elektrotechnischen Gebiet zugewiesen werden muss.

2. Der Oberbau.

Unter Oberbau versteht man im Bahnbetrieb den Schienenweg mit allem, was zur Herstellung desselben nötig ist; im elektrischen Bahnbetrieb also: Die Schienen, Laschen, Befestigungsschrauben, Weichen, Schienenverbinder, Querverbinder, Steinkoffer, Bettung; bei Verwendung von Schwellen gehören auch diese zum Oberbau und kommen in diesem Falle noch die Schienennägel hinzu.

a) Schienen.

Den Vorläufer des heute allgemein verwendeten Schienenmaterials für elektrische Kleinbahnen, insbesondere für elektrische Strassenbahnen, finden wir in der Büsing-Schiene. Dieselbe genügte, so lange man mit leichten Pferdebahnwagen die Gleise befuhr, konnte indes für den motorischen Betrieb nicht in Frage kommen. Die Verbesserung der Büsing-Schiene war die Schiene von Fischer-Dick, doch auch diese konnte den stärkeren Beanspruchungen nicht mehr genügen.

Über die Entwickelung des Strassenbahn-Oberbaues hat Fischer-Dick in seiner Monographie: »25 Jahre bei der Grossen Berliner Pferdebahn« sehr eingehend berichtet. Ein Auszug aus dieser Schrift befindet sich in der »Z. d. V. d. Ing. 1899, Heft 3, S. 70 ff.«

Erst Anfang der achtziger Jahre lenkte der Wunsch der Berliner Behörden die Entwicklung des Oberbaues in den heutigen Zustand, der darin besteht, Stahloberbau mit symmetrischen Schienen zu verwenden. Indessen war die Walztechnik damals noch nicht imstande, die heute verwendeten Rillenschienen herzustellen, und es war der natürliche Weg, die heute als Haarmann-Schiene bekannte Kombination zweier Vignolschienen zur Durchführung zu bringen. Auch diese Schiene hatte Wandlungen durchzumachen, bis sie zu der heutigen Form kam.

Vor allem musste man von dem bis dahin üblichen Querschwellen- und Längsschwellenbau abgehen, weil sich Schwierigkeiten betreffs des Pflasteranschlusses sehr bald zeigten. Man arbeitete darauf

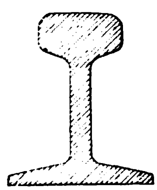


Fig. 40.

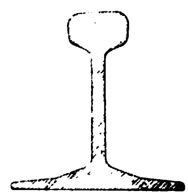


Fig. 41.

hin, die Schiene mit derartig breitem Fusse zu versehen, dass der spezifische Druck auf der Schienenbettung möglichst gering blieb, d. h. kleiner als 2 *kg/qcm*, um so das Bett mässig zu belasten. Ausserdem wurde das Profil derart konstruiert, dass es eine grosse Tragfähigkeit erhielt, um den elastischen Durchbiegungen besser zu widerstehen. Schliesslich musste der Grundsatz zur Durchführung gelangen, die Breite von Schienenkopf, Spurrille und Rillensteg annähernd so gross zu machen wie den Fuss. Teils ergab dies Profilhöhen, welche grösser waren als die Pflastersteinhöhen; teils arteten die Bestimmungen auch dahin aus, dass man die Fussbreite zu Gunsten einer besseren Pflasterverlegung, aber auf Kosten der Festigkeit verschmälerte.

Die weitere Folge der nunmehr zum Durchbruch gekommenen Schienenarten war die Herstellung guter Laschenverbindungen und guter Bettungen.

Die allgemein bekannte Vignolschiene, welche Fig. 40 zur Darstellung bringt, und welche nicht geeignet ist, direkt ohne Querschwellen oder Längsschwellen auf der Steinbettung verlegt zu werden,

musste der sogenannten Hartwich-Schiene, welche in Fig. 41 dargestellt ist, weichen.

Dagegen wird die Vignolschiene vorzugsweise auf eigenem Bahnkörper verlegt, und wählt man mit Vorliebe das Profil der preussischen Nebenbahnen von rund 24 *kg* Gewicht für 1 *m* Schiene. Holz- oder Eisenschwellen finden hierbei in üblicher Weise Verwendung.

Voraussetzung für die Verwendung des Hartwich-Oberbaues ist:

1. ein fester Strassenkörper oder Bahnkörper;
2. hartes, wetterbeständiges Steinmaterial;
3. sorgfältige Verlegung;
4. genügende Entwässerung.

Die Hartwich-Schiene unterscheidet sich von der erstgenannten nur durch den breiteren Fuss und durch das höhere Profil. Der breite Fuss gestattet die Verlegung auf dem Steinkoffer, und der zulässige spezifische Druck bleibt in angemessenen Grenzen. Zu

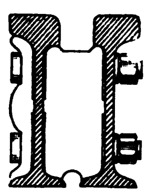


Fig. 42.

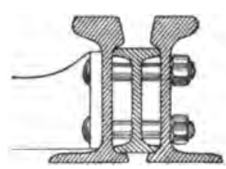


Fig. 43.

dem Zwecke wurde die Hartwich-Schiene mit einer angenieteten Schutzrippe versehen, und fand so in München dauernd und befriedigend Verwendung.

Die Konstruktionshöhe der neueren Profile schwankt zwischen 130 und 180 *mm*. 150 *mm* dürfte für alle Pflasterarten als genügend angesehen werden.

Um die angenietete Schutzrippe der Hartwich-Schiene zu vermeiden, konstruierte Haarmann seinen mehrteiligen Oberbau. Fig. 42 zeigt die erste Konstruktion, welche indes als verunglückt anzusehen ist, da die geringe Fussbreite der Schiene dieselbe unbrauchbar machte. Man hatte anfangs angenommen, dass die Leitschiene infolge der mehrfachen Verbindungen mit der Hauptschiene tragend sein würde, und dass auch deren Fuss den Druck übernehmen würde. Indessen zeigte sich, dass die Hauptschiene besonders bei ihrem Druck auf das Bett nicht aushielt.

Haarmann ging alsdann auf seinen dreiteiligen Oberbau über, wie derselbe in Fig. 43 dargestellt ist. Aber auch hier zeigten sich Schwächen, trotzdem das Material der Schienen ein vorzügliches

war, und der Walzprozess keine Strukturveränderungen mit sich brachte, wie dies anfänglich bei den Rillenschienen der Fall war.

Als weitere Lösung des Oberbaues nach Haarmann'schen Ideen ist das in Fig. 44 dargestellte Oberbausystem mit wechselndem Steg und mit Überblattung der Stege zu betrachten.

Es würde hier zu weit führen, alle die Wandlungen zu beschreiben, welche die oben angegebenen Bestrebungen zeigten, und kann ich daher auf die vortrefflichen Werke von Haarmann: »Das Eisenbahngleis« bezw. »Die Kleinbahnen« hinweisen.

Eine weitere litterarische Vervollständigung der Oberbausystemfrage für elektrische Bahnen im Innern der Städte giebt Direktor H. Géron-Köln in seinem Referat für die V. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Strassenbahn- und Kleinbahnverwaltungen am 11. September 1899. [Vergl. Mitteilungen des Vereins (Beilage zur Zeitschrift für Kleinbahnen) 1899, Heft 11.]

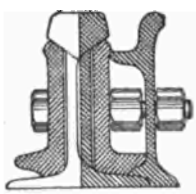


Fig. 44.

Im Haarmann-Oberbau ist das dreiteilige Schienensystem hauptsächlich seiner Vielteiligkeit wegen endgiltig aufgegeben, dagegen erfreut sich das letztgenannte Wechselsteg-Verblattsystem einer weiten und erfolgreichen Verbreitung. Das System mit Leitschienen gestattet, die Rille in Kurven beliebig zu erweitern. Anderseits macht es aber ein Vergiessen der tiefen Rille zwischen den beiden Schienen mit Cement erwünscht, da es nicht ausgeschlossen scheint, dass sich Wasser durch die Rillen einen Weg zur Unterbettung bahnt und diese unterspült. Die Steifigkeit der Verblattstösse und der sanfte Übergang des Rades an der Stossstelle sind bemerkenswerte Vorteile, jedoch ist der Preis für das ohnehin schwere Haarmann-Gleis wesentlich höher als für Rillenschienen, und sein vielteiliger, eine sorgfältige Montage erfordernder Zusammenbau macht die Verlegung langwierig.

Die anfänglichen Misserfolge des Haarmann-Oberbaues feuerten die Walztechniker an, das auf anderem Wege und schneller zu erreichen, was Haarmann mit vielen Zeit- und Geldopfern, nach vielen Misserfolgen und Lobeserhebungen schliesslich auch erreicht hat. Man ersann Verfahren, eine Hartwich-Schiene mit gleichzeitig angewalzter Spurrille herzustellen, wodurch allerdings neben der Ängstigung des Materials das Profil verschoben werden musste. Auch hier hat es nicht an Misserfolgen in der Fabrikation und in der Verwendung gefehlt.

Die Rillenschiene soll den Steg stets unter dem Schienenkopf haben. Die anfänglichen Profile zeigten in dieser Beziehung einen Mangel, doch ist man neuerdings dazu gekommen, den Druck der

Lauffläche direkt auf den Steg zu übertragen. Fig. 45 zeigt das grundlegende Profil für die sogenannten einteiligen Rillenschienen, welche diesen Namen als Gegensatz zu der mehrteiligen Haarmann-Schiene erhalten haben.

Der Rillensteg musste mit der Zeit Verstärkungen erfahren, um auch dem seitlich drückenden Pflaster besser widerstehen zu können. Es ergeben sich daher Profile, wie sie in Fig. 46 gezeigt sind. Hier

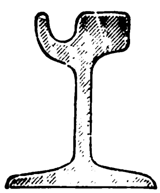


Fig. 45.

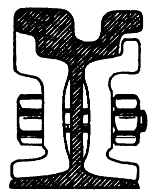


Fig. 46.

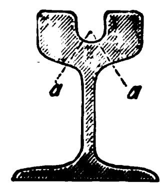


Fig. 47.

macht sich bereits die Verschiebung des Schienensteges gegen den Schienenkopf geltend, welche in Fig. 47 im übertriebenen Zustande dargestellt ist. Dieses Profil würde für eine Bandage mit doppeltem Laufkranz gut verwendet werden können, weil sich naturgemäss zwei Laufflächen, die auch die Bandage besitzt, ergeben. Der zweiteilige Schienenkopf wird über dem Steg auf Biegung be-

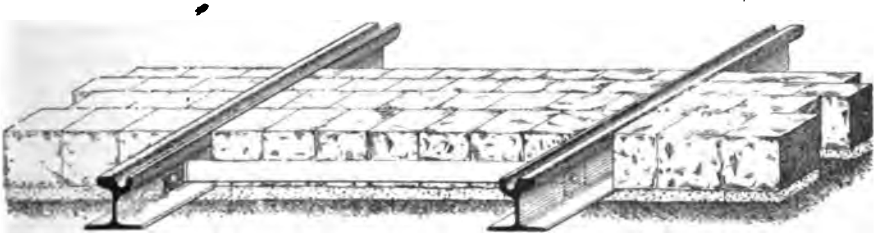


Fig. 48.

ansprucht und muss an den gefährlichen Querschnitten »a« entsprechend stark dimensioniert werden. Ausser bei den Bahnen in Budapest findet sich die doppelte Bandage mit Spurkranz in der Mitte nicht vor, obgleich gerade diese Bandagenform für Befahrung von Stössen, Weichen, Herzstücken und schiefen Kreuzungen ganz besonders gut geeignet ist. Die Haarmann'sche Zwillingsschiene würde hier eher berufen sein, zweckentsprechendere Verwendung zu finden, als die Rillenschiene. Fig. 48 zeigt die Verlegung einer Rillenschiene im Pflaster nebst Pflasteranschluss und Spurstangen.

Das einteilige Rillenschienensystem behält den Vorzug der Billigkeit und der leichteren Verlegbarkeit, während wieder das Haarmannsche mehrteilige System wegen seiner guten Stossverbindung und

der Möglichkeit, in den Kurven die Spurrillen beliebig erweitern zu können, vorzuziehen ist. Ganz neueren Datums ist die Möglichkeit der Walzung von Rillenschienen für Kurven mit erweiterter Spurrille. Hierbei ist allerdings der Übergang von der Kurvenrille zur gewöhnlichen Rille ein plötzlicher, wo hingegen beim Haarmann-Oberbau der allmähliche Übergang möglich ist.

Die früher im grösseren Umfange verwendeten leichteren Rillenschienenprofile (Phönix 7 = rund 74 *kg/m* Gleis und Profil 8 = rund 81 bis 84 *kg/m* Gleis) zeigten sich dem zunehmenden Wagengewicht und dem ständig dichter werdenden Verkehr nicht mehr gewachsen. Da, wo man genannte Profile verlegt hatte, musste man sehr bald die ausgefahrenen Stösse durch Auswechseln der Flach- oder Halbstosslaschen gegen Phönix-Fusslaschen zu leidlicher Haltbarkeit zurückführen. Heute finden die Profile Phönix 25 = 92,5 *kg/m* Gleis, Profil 14b = 92,9 *kg/m* Gleis und schliesslich Profil 14f = 114,3 *kg/m* und die gleichschweren Profile anderer Walzwerke weite Verbreitung. Das erste genannter drei Profile ist wegen seines hohen Steges, aber etwas schwachen Kopfes hauptsächlich für im Pflaster liegende und weniger verkehrsreiche Strecken geeignet. Die beiden anderen Profile mit geringerer Höhe, aber starkem Kopf finden vorzugsweise für Einlagerung in Beton Verwendung und genügen einem grossstädtischen Verkehr vollkommen. Im Gewicht hat diese letztere Schiene bereits die stärkeren Haarmann-Profile übertroffen. Das in Nürnberg neuerdings zur ausschliesslichen Verwendung gekommene Haarmannsche Profil 47f hat ein Gewicht von 111,3 *kg/m* Gleis.

Das Schienenmaterial ist bei dem Phönixschienen-Oberbau durchweg Thomasstahl, bei den Haarmann- und Hartwich-Schienen Bessemerstahl. Auch Siemens-Martinstahl ist bereits verwendet worden. Der gewöhnliche Thomasstahl wurde früher in einer Härte bezw. Festigkeit von 50 *kg* geliefert, hat sich aber als zu weich erwiesen und wird infolgedessen jetzt mit einer Festigkeit von 55 bis 60 *kg* hergestellt. Der mit Kohlenstaubverfahren fabrizierte sogenannte Patentstahl besitzt eine Festigkeit von 70 bis 75 *kg*. Diese harten Patentstahlschienen haben aber Übelstände (Berlin) gezeigt, während der weichere Patentstahl mit 60 *kg* (Hamburg) Mängel nicht ergeben hat.

Der Bessemerstahl mit 55 bis 60 *kg* Festigkeit hat sich überall als gleichartiges Material vorzüglich bewährt. Die beobachteten Mängel des Schienenmaterials, als z. B. Ausquetschungen, Abschilferungen, lassen sich durch Verwendung von zu weichem oder zu hartem Material (Thomasstahl) erklären, während die Schienenstegrisse bei zahlreichem Auftreten (Haarmann Zwilling) durch zu schwachen Schienensteg, 5 *mm*, entstanden sind.

Die in verhältnismässig geringer Zahl bei kräftig gehaltenem Schienensteg beobachteten Stegrisse erklären sich durch die hier und da bei dem Walzen sehr langer Schienen (10 bis 12 *m*) an den Enden entstehenden geringen Materialfehler, die den Schienensteg bei dem Zusammenziehen der kräftig verlaschten Schienenstränge bei grosser Kälte zum Reissen bringen.

Die Abnützung der Schienen ist naturgemäss am Schienenstosse am stärksten, durchschnittlich kann dieselbe bei richtig gewähltem Schienenmaterial und horizontaler Lage des Gleises auch bei starkem Verkehr auf $^1/_2$ *mm* im Jahr angenommen werden.

In Berlin ist bei Bessemerstahlschienen, bei einem Verkehr von 70 Pferdebahnwagen in der Stunde, und sehr starkem Fuhrwerksverkehr bei zehnjähriger Erfahrung im Jahr eine Abnutzung von $^1/_2$ *mm* bei den inneren, 1 *mm* bei der äusseren Schiene beobachtet worden.

Die Einwirkung der Härte und des Profils der Bandagen auf den Verschleiss der Schienen klingt dahingehend aus, dass harte Bandagen und scharfe Profile die Schienen besonders in den Kurven sehr stark in Anspruch nehmen. Es empfiehlt sich daher, auf die Erhaltung der Schienen in erster Linie Rücksicht zu nehmen und Material und Form der Bandagen darnach zu wählen.

Die Schiene wird um so mehr beansprucht, je höher der ruhende Raddruck P (*kg*), je kleiner der Achsstand l (*cm*), je schneller die Fahrgeschwindigkeit v (*km*/St.) ist. Für normale Verhältnisse kann man den »rollenden Raddruck« nach der von Dr. Vietor aufgestellten Formel berechnen:

$$Q = \frac{3\,P}{4\,l}\,(v^2 + 300).$$

Als durchschnittliche Grenzwerte für Raddruck, Achsstand und Geschwindigkeit können gelten:

bei	Pferdebahnen	elektrischen Bahnen mit direkter Stromzuleitung	elektrischen Bahnen mit Akkumulatoren
P =	1250 bis 1750	1500 bis 2250	2500 bis 3000
l =	125 » 200	150 » 200	150 » 200
v =	8 » 10	12 » 20	12 » 20

Für Unterhaltungs- und Erneuerungskosten kommt noch die Betriebsdichte oder Achsenfolge (Zahl der Achsen in der Minute) in Betracht.

Für die Wahl des Profils und der Verlegungsart ist stets Rücksicht auf Kanäle und Drahtleitungen unter der Strassendecke, auf die Form der Strassenoberfläche und auf die Ansprüche des Fuhrwerksverkehrs zu nehmen, und da heisst es, dass für Strassenbahnen das beste Gleis gerade gut genug ist.

Normalspur oder Schmalspur thut wenig zur Sache; bei letzterer darf ein Gleis bei gleichen Verkehrsbedingungen keinesfalls schwächer sein. Dagegen sind von grossem Einfluss auf den Oberbau die Konstruktionsverhältnisse der Wagen: Raddruck, Achsstand, Lagerung der Achsen, Federung des Gestelles, Aufhängung der Motoren, Federung des Oberkastens, Gleichmässigkeit der Lastverteilung und Lage des Schwerpunktes.

Je besser die Materialverteilung im Schienenquerschnitt, desto stärker ist der Oberbau. Die Hochstegschiene mit recht breitem Kopf nähert sich dem Trägerideal am meisten. Bei der Schiene mit im Kopf eingewalzter Rille liegt die Neutralschicht verhältnismässig hoch; solche Schienen unterliegen der Schweinsrückenbildung am meisten, wenn sie niedrig sind. Sind besondere Leitschienen vorhanden, so hängt der Beitrag der Leitschiene zur Tragfähigkeit des Gestänges von der Güte der Verbindung beider Schienen ab.

Brauchbare Grenzwerte von Trägheitsmomenten sind die folgenden:

Schienenhöhe	Trägheitsmoment	Widerstandsmoment
130 *mm*	800 bis 1200 cm^4	125 bis 190 cm^3
155 »	1500 » 2000 »	200 » 275 »
180 »	2400 » 3000 »	280 » 350 »

b) Laschen und Stösse.

Eine äusserst wichtige Frage für den heutigen Strassenbahn-Oberbau ist die der mechanischen Verbindung zweier Schienenenden neben der elektrischen, welche in einem späteren Kapitel behandelt wird. Zur Erreichung eines geräuschlosen Ganges der Wagen, als auch zur Schonung der Schienenenden und der Betriebsmittel hat man die verschiedensten Mittel angewendet, um feste Verbindungen zu erreichen.

Die für den freiliegenden Oberbau angewendeten Stossverbindungen sind ebenfalls so mannigfacher Art, dass es hier zu weit führen würde, auch diese zu behandeln. Es sei hier nur auf die Stossfangschiene hingewiesen, welche in letzter Zeit viel von sich reden machte, und auf der neuen Wiener Stadtbahn Anwendung gefunden hat. (Vergl. »Die Elektrizität« 1898, Heft 21, u. Z. d. V. d. Ing. 1899, Heft 4, Seite 272.)

Jede Laschenverbindung eines Schienenstosses, und sei dieselbe noch so fest zusammengezogen und gesichert, wird mit der Zeit locker, und zwar um so früher, je schwächer das Schienenprofil bezw. die Laschenkonstruktion, je grösser das Wagengewicht bezw. der Raddruck, und je weniger solid die Unterbettung der Schienen ist. Beim Strassenbahngleis kommt gegenüber dem auf eigenem

Bahnkörper verlegten Eisenbahngleis noch der Übelstand hinzu, dass die Laschenschrauben durch die Einpflasterung unzugänglich bleiben und nicht regelmässig nachgezogen werden können.

Es empfiehlt sich daher, bei der Einpflasterung der Schienenstösse besondere Rücksicht auf leichte Zugänglichkeit der Laschenschrauben zu nehmen.

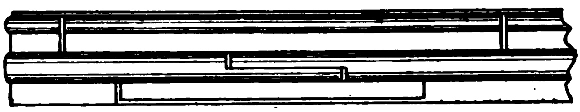


Fig. 49.

Über die Haarmann'sche Schwellenschiene, Fig. 44, ist bereits gesagt worden, dass die Schienenhälften am Stoss sich um 500 *mm*

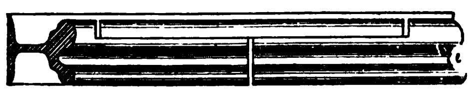


Fig. 50.

überblatten, wie dies die Grundrissfigur 49 darstellt. Es sind hier zwei Halbstösse gebildet und der Vollstoss vermieden worden. Jeder

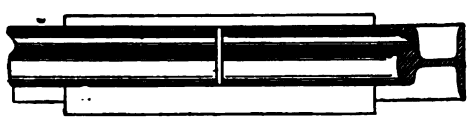


Fig. 51.

Halbstoss ist besonders verlascht. Die Schienenhälften sind fest miteinander vernietet oder verschraubt.



Fig. 52.

Der nach seinem Konstrukteur Theodor Schmidt benannte Halbstoss, Fig. 50, soll ebenfalls den Vollschienenstoss ersetzen, wie der letztere in Fig. 51 mit gerader Stossfuge und Fig. 52 mit schräger Stossfuge dargestellt ist.

Die Halbstosslasche ersetzte hierbei den Vollstoss durch drei Halbstösse, indem sie selbst auf 40 bis 50 *cm* Länge zum Halbschienenkopf ausgebildet ist und in ihrer ganzen Länge unter den Schienenkopf der Laufschiene greift. Der Querschnitt der Schmidtschen Lasche ist in Fig. 53 dargestellt. Zugleich zeigt diese Figur die Ausbildung der Innenlasche als Fusslasche. Die Anordnung der

Fusslasche gilt als eine weitere Verbesserung der Stossfrage. Nachdem nämlich der Schmidt'sche Halbstoss trotz seiner grossen Verbreitung zu Klagen Anlass gegeben hat, weil die Laschenschrauben durch den auf die Halbstosslasche ausgeübten Druck des Rades leichter gelockert werden, und dann, namentlich in Beton und Asphalt,

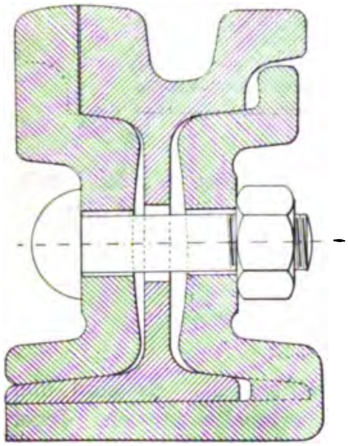


Fig. 53.



Fig. 54.

Stösse nur schwer und kostspielig nachzuziehen sind, ist die Anwendung der Fusslasche begünstigt worden. Dieselbe stellt sich als

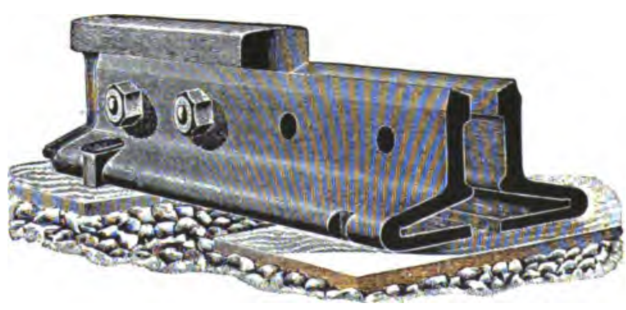


Fig. 54 a.

ein gleichwertiger Ersatz des Schmidt'schen Halbstosses dar. Sie wird teils aussenseitig, auch in Verbindung mit der Halbstosslasche, teils innenseitig, wie in Fig. 53 dargestellt, und schliesslich auch beiderseitig, wie in den Fig. 54 und 54 a gezeigt ist, ausgeführt.

Diese Fusslaschen müssten, wenn sie an drei Punkten fest anliegen sollen, genau auf das Profil angepasst werden, was indes

unmöglich ist. Man ist diesem Übelstand durch andere Konstruktionen entgegengetreten.

Bei der beiderseitigen Fusslaschenausbildung legt man eine Keilplatte bei, wie dies Fig. 55 und 55a in Ansicht, Grundriss und Schnitt darstellen. In Fig. 56 ist die durch D. R.-P. 105 212 geschützte Stossverbindung der Bochumer Stahlindustrie, G. m. b. H., dargestellt. Hier werden die Schienenenden von drei Seiten fest umspannt.

Ausser normalen Seitenlaschen sind anspannungsfähige Fusslaschen vorhanden, welche infolge eigenartiger Konstruktion die Schienen an den äussersten Stossenden kräftig emporspannen und ein wirkliches Mittragen der Fusslaschen ermöglichen.



Fig. 55.

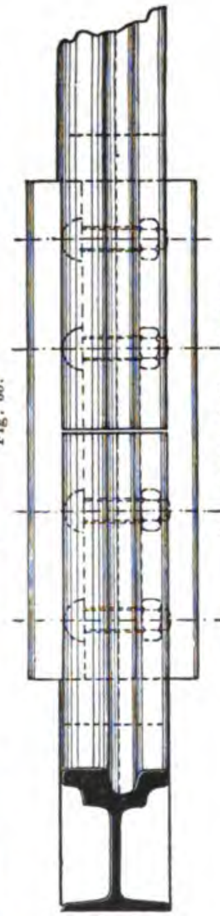


Fig. 55 a.

Wenn auch abgeschlossene Erfahrungen mit den

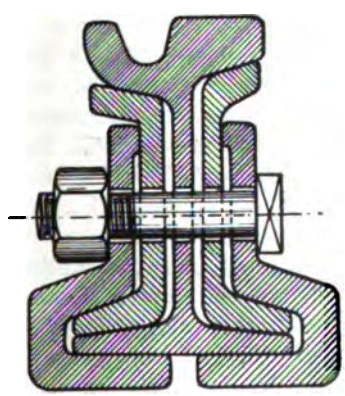


Fig. 56.

Fusslaschen z. Z. noch nicht vorliegen, so zeigte doch die stetig sich steigernde Verbreitung, dass die Strassenbahntechnik dieser Konstruktion Vertrauen entgegenbringt. Die Fusslasche hat noch den wirtschaftlichen Vorteil, dass es mit ihr möglich wird, inländisches Schienen-

material mit geringerem Zoll über die Grenze zu schaffen, weil die Schiene alsdann als halbfertiges Fabrikat mit geringerem Zoll belegt ist, als die für den Schmidt'schen Stoss eingearbeiteten Flächen der Schiene. In dem letzteren Fall gilt die Schiene als fertiges Fabrikat und dementsprechend trägt sie einen höheren Zoll.

Durch die Fusslasche in kräftigster Form wird sicherlich die mechanische Festigkeit des Stosses erhöht, so lange das Maul der Lasche den Schienenfuss fest umfasst. Wenn dagegen eine Sperrung des Maules eintritt, würde die Festigkeit nachlassen. Obgleich die Fusslasche noch jüngeren Datums ist, sagt man ihr schon nach, dass sie die sogenannte Schweinsrückenbildung am Schienenstoss, welche eine Folge der elastischen Bewegungen ist, verhindert.

Gleichzeitig mit den Bestrebungen mechanischer Verlaschung halten die Versuche mit Herstellung stossloser Schienen gleichen Schritt. Man strebt hier darnach, die vom Walzwerk gelieferten Schienenlängen entweder durch Verschweissen der Schienen an der Verlegungsstelle oder durch Umgiessen der Stossstellen mit Gusseisen zu einem fortlaufenden Schienenstrang zu vereinigen.

Der Gedanke einer kontinuierlichen Schiene ohne irgendwelche Vorkehrung für Längenänderungen infolge von Temperaturdifferenzen ist so sehr im Widerspruch mit allen Überlieferungen der Eisenbahntechnik, dass Fachleute sich damit nicht leicht befreunden können. Die Praxis hat hier wieder einmal das Gegenteil von dem bewiesen, was man der bisher herrschenden Theorie nach erwarten konnte; denn so verlegte Schienen haben sich weder gekrümmt, noch sind übermässig viele Brüche vorgekommen.

Der erste Versuch einer kontinuierlichen Schiene ist von Philip Noonan in Lynchburg gemacht worden. Die Schienen auf einer 5 *km* langen Strecke einer Vollbahn wurden ohne Zwischenraum an den Stössen durch heiss vernietete Laschen fest verbunden. Nachdem diese Strecke ohne jede Schwierigkeit mehrere Jahre im Betrieb gewesen war, entschloss sich im Jahre 1892 die Johnson Co., einen Versuch mit fest verbundenen Schienenstössen zu machen. Auf einer 350 *m* langen Strecke wurde die eine Seite in der gewöhnlichen Weise, die andere mit mechanisch vollkommen starren Laschenverbindungen verlegt. Die Temperatur schwankte während der Zeit der Beobachtung zwischen — 12 und + 32° C., und trotzdem wurde weder eine longitudinale Verschiebung, noch eine Krümmung der Schiene beobachtet. Nachdem die Möglichkeit der kontinuierlichen Schiene auf diese Weise festgestellt war, wurde im folgenden Jahre eine 5 *km* lange Strecke mit elektrisch geschweissten Schienenstössen in Johnstown hergestellt. Im folgenden Winter (1893/94) rissen etwa 6 % der Schweissstellen, was auf einige Unvollkommenheiten

in der Anwendung der elektrischen Schweissmaschine zurückgeführt wurde. Nachdem die nötigen Verbesserungen gemacht waren, wurden geschweisst in St. Louis 10 *km* Gleis, Cleveland 8 *km*, Brooklyn 50 *km*. In allen diesen Fällen wurde die Verbindung der Schienen durch seitlich angeschweisste Laschen hergestellt, und wo Brüche vorkamen, waren dieselben nicht in der Lasche oder Schweissstelle, sondern in der Schiene knapp hinter der Schweissstelle eingetreten. Der Grund für die Brüche ist wahrscheinlich ungleichmässige Abkühlung, und um diesen Übelstand zu beheben, werden jetzt die Schienen ohne Anwendung von Laschen an ihren Stossfugen einfach vergossen oder zusammengeschweisst.

In erster Reihe ist hier das von Amerika zu uns herüber gekommene Falk'sche System zu erwähnen.

Im Jahre 1894 wurde in Milwaukee die Falk'sche Schienenverbindung durch Umgiessen der Stossstelle mit Gusseisen zum ersten Male angewendet, und diese Methode hat seitdem viele amerikanische Gesellschaften und in neuerer Zeit auch solche in Europa, z. B. in Berlin, Paris, Marseille, le Havre, Rouen, beschäftigt.

Die Schienen müssen an den späteren Gussstellen gut gereinigt werden. Um den Rost von den Schienen zu entfernen, wird eine Salzsäurelösung verwendet. Die Reinigung selbst geschieht auf verschiedene Weise, entweder von Hand mit einer Drahtbürste bei Verwendung von Koks, in Amerika vermittelst einer durch Elektromotor angetriebenen Schmirgelscheibe oder wie in Paris, durch ein Dampf-Sandstrahlgebläse. Obgleich dieser Apparat gute Resultate ergeben hat, und die Dauer eines Reinigungsprozesses nur $1^1/_2$ Minuten betragen haben soll, so ist man doch wieder zur Reinigung von Hand zurückgekehrt, da durch das Gebläse die Gussstellen in Bezug auf den innigen Kontakt zwischen Schiene und Gussblock ungünstig beeinflusst worden sind.

Nach dieser Vorbehandlung werden die Schienen an ihre richtige Stelle im Strassenniveau gelegt. Wenn die Schienen früher mit einer Laschenverbindung versehen waren, so schlägt man zwischen die Enden Eisenkeile ein. Hierauf umgiebt man die Stossstellen mit den Formstücken, einem linken und einem rechten Stück, welche dem Profil der Schiene angepasst sein müssen und deren Innenseiten mit einer Mischung von Öl und Graphit bestrichen sind. Die beiden Teile werden durch eine übergreifende Klaue gehalten.

Man unterscheidet zwei Arten von Formstücken, die Schiffsform (Fig. 57) und die Korsetform (Fig. 58). Um das Ausfüllen der Rille durch Gusseisen zu verhindern, um gleichzeitig die beiden Schienenenden in genauer Verlängerung zu einander zu halten und um Erhebungen durch die Ausdehnung zu vermeiden, setzt man auf den

Schienenkopf, in die Rille eingreifend einen besonderen Teil, »Hund« genannt, welcher entweder an beiden Enden oder in der Mitte befestigt wird. Fig. 57 zeigt den »Hund« an beiden Enden befestigt.

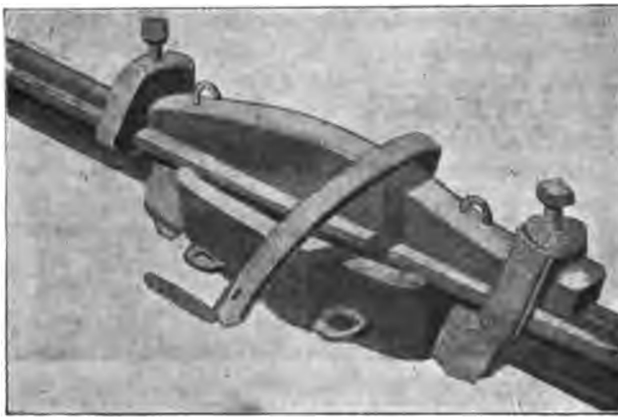


Fig. 57.

In Berlin hat man die Verbindungen ohne diesen Teil ausgeführt, da durch den dort angewendeten Halbstoss schon eine genaue Richtung der Schienenenden gewährleistet wurde; die Rille wurde mit vollgegossen und dieses Gussstück später wieder entfernt.

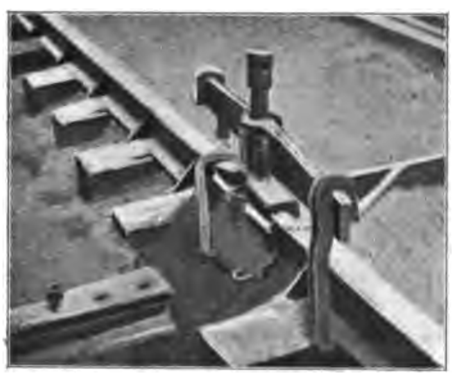


Fig 58.

In Marseille mit und ohne Hund ausgeführte Vergiessungen ergaben keinen Anhalt, welche Art vorzuziehen wäre; aus dem oben Gesagten bezüglich des genauen Überganges der Schienen in derselben Ebene dürfte sich aber doch die Anwendung desselben empfehlen.

Alle Öffnungen der Form, natürlich mit Ausnahme der Luftpfeifen und des Eingusses, sind gut mit Sand verstopft; an die Eingussöffnung wird ein geneigtes Führungsstück gelegt, gegen welches der Guss erfolgt und das derartig geformt sein muss, dass das Gusseisen zunächst auf die Schienen läuft und diese vorwärmt, ehe es die Form selbst ausfüllt.

Das zum Guss nötige Eisen wird in einem Giessofen geschmolzen, welcher auf einem von Pferden gezogenen Wagen montiert ist. Fig. 59 zeigt die Gesamtansicht dieses Gefährtes, welches in Marseille Verwendung gefunden hat. Die gesamte Ausrüstung besteht aus 1 Giessofen, 1 Kessel, 1 Dampfturbine, 1 Ventilator und verschiedenen Nebenapparaten.

Die zum Betriebe des Ventilators dienende Dampfturbine kann bei schon im Betrieb befindlichen Strecken durch einen von dem Betriebsstrom gespeisten Elektromotor ersetzt werden.



Fig. 59.

Der Schmelzofen muss so lange gefüllt sein, als es zur Herstellung sämtlicher Verbindungen nötig ist; bei Fortbewegungen des Gefährtes hält man das Gebläse an, und kann dies bis 20 Minuten lang geschehen, ohne dass ein Erstarren der Gussmasse zu befürchten ist.

Der Gussprozess selbst ist folgender: Aus dem Schmelzofen werden die Gusspfannen gefüllt und möglichst schnell nach der zu umgiessenden Stossstelle getragen. Die Gussmasse wird abgeschäumt und abgeschlackt, worauf der Einguss langsam gegen das vorerwähnte Führungsstück erfolgt. Durch das langsame Eingiessen wird der Luft genügend Zeit zum Entweichen gelassen, und es werden dadurch Gussblasen vermieden, welche von äusserst ungünstigem Einfluss

auf die Haltbarkeit des Stosses sind und zu Brüchen Veranlassung geben.

Die Temperatur des eingegossenen Eisens ist $\sim$ 1400° C.

Kurze Zeit nach Beendigung des Gusses entfernt man die Sandverstopfungen, hebt die Halteklaue ab und löst die beiden Formstücke vermittelst einer Brechstange.

Der Hund wird noch einige Zeit auf der Gussstelle gelassen.

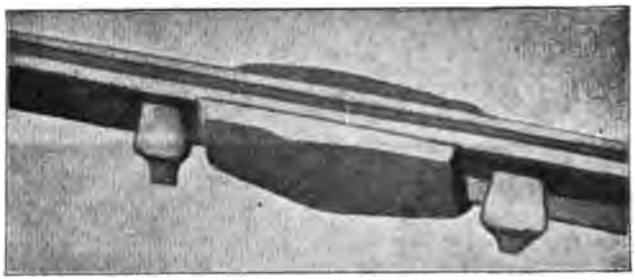


Fig 60.

Nach entsprechender Abkühlung entfernt man die Gussnähte und stellt eine glatte Schienenoberfläche entweder von Hand vermittelst einer Feile oder durch eine von einem Elektromotor angetriebene Schmiergelscheibe her.

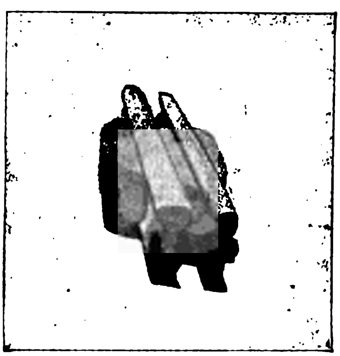


Fig. 61.

Die Vorbereitungsarbeiten werden gewöhnlich am Tage ausgeführt, während der Guss selbst meistens nachts erfolgt. In Fig. 60 und 61 sind fertige Stossverbindungen dargestellt.

Um in Marseille in einem Tage 60 bis 70 Verbindungen herzustellen, waren folgende Leute nötig:

1 Meister, 1 Mechaniker, 1 Heizer, 1 Giesser, 1 Hilfsgiesser, 6 Gusspfannenträger, 2 Abschlacker, 2 Former, 2 Formabnehmer, 1 Gussputzer; es sind dies zusammen 18 Mann, zu welchen noch 1 Wächter und 1 Kutscher hinzukommt.

Alle Arbeiten sind höchst einfach, und bekommen die damit beschäftigten Leute sehr bald eine bedeutende Fertigkeit, was natürlich auf die Güte der Verbindungen von wesentlichem Einfluss ist.

Nachstehende Tabelle enthält verschiedene Angaben über ausgeführte Schienenverbindungen, System Falk.

Anwendungsort	Schienenprofil	Schienengewicht	Gewicht der Verbindung
Lyon	Marsillon	27 *kg*	60 *kg*
Rouen	Petit Broca	28 »	45 »
Rouen	Grand Broca	44,5 »	61 »
Rouen	Marsillon	27 »	62 »
Paris	Grand Broca	44,5 »	51 »
Berlin	Phönix	52 »	50 »
Marseille	Humbert	27 »	37 » gewöhnl. 40 » verstärkt

Die Verbindungen sind stets inneren Zugspannungen unterworfen, was dadurch bewiesen wird, dass eine durch Stösse oder einen sonstigen Zufall gebrochene Verbindung stets einen Spalt von 1 bis 2 *cm* Stärke aufweist; die Ursache dieser Erscheinung ist wahrscheinlich in der plötzlichen Ausdehnung der Schienen beim Guss zu suchen.

Die Ursache von Brüchen sind gewöhnlich Gussblasen oder Zugbeanspruchungen durch zu plötzliches Abkühlen; so ist in Marseille ein Fall vorgekommen, dass ein Bruch durch Regen hervorgerufen wurde, welcher auf die noch glühende Stossverbindung gefallen war, trotzdem der Guss keine Blasen zeigte. Nachdem die zu Anfang gebrochenen Schienenstösse entfernt und durch neue ersetzt worden sind, werden Brüche im Betrieb nur noch sehr vereinzelt auftreten.

Die Stossverbindung, System Falk, soll auf einer nicht zu häufig befahrenen Strecke dieselbe Lebensdauer als die Schienen selbst aufweisen. Von besonderem Werte ist dieses System für bereits befahrene Linien, jedoch hat man auch neu angelegte Strecken in Paris, Rouen u. s. w. damit versehen.

Nach amerikanischen Berichten beträgt die elektrische Leitungsfähigkeit der Verbindungen $\sim$ 75 % des Schienenquerschnittes.

In Lyon im Laufe von zwei Jahren angestellte Versuche ergaben das Resultat, dass der Widerstand der Verbindung nie höher als der der Schiene selbst war.

In Marseille im August 1898 ausgeführte Messungen an 40 *kg* schweren Falk'schen Verbindungen an Schienen, Profil Humbert, mit 27 *kg* Gewicht für 1 *m* Schiene ergaben folgende Resultate:

Widerstand von 1 *km* Schiene: 0,0570 Ω bei 26° C.

a) Schienenstoss mit einer Verbindung, »Chicago rail bond«, Type 00 versehen:

1. Stoss: Widerstandszunahme infolge der Verbindung	0,00008 Ω
2. » » » » »	0,00017 »
3. » » » » »	0,00013 »
im Mittel:	0,00013 Ω

Der Widerstand einer Stossverbindung ist demnach ungefähr gleich 20 *cm* Schienenlänge.

b) Schienenstoss ohne elektrischen Verbinder:

1.	Stoss:	Widerstand	0,00060,	gleich	1,05 *m*	Schiene
2.	»	»	0,00107	»	1,88 »	»
3.	»	»	0,00071	»	1,25 »	»
4.	»	»	0,00038	»	0,65 »	»

Aus diesen Resultaten folgt, dass es doch zu empfehlen ist, noch besondere elektrische Schienenverbinder zu verwenden, da man für die Güte der Falk'schen Verbindung in elektrischer Beziehung keine Garantie hat.

Nachteile der Falk'schen Verbindung sind:

1. Die Schwierigkeiten, welche bei sich nötig machenden Reparaturen auf der Strecke und bei Gleisverlegung durch die nur ein Stück bildende Schiene hervorgerufen werden.
2. Der höhere Preis gegenüber den andern mechanischen Stossverbindungen, welcher jedoch durch Ersparnisse an Unterhaltung u. s. w. wieder aufgehoben werden kann.
3. Man hat befürchtet, dass durch das Umgiessen die Schiene selbst weich wird und dadurch einer raschen Abnützung unterworfen ist; dieses Vorurteil scheint jedoch unbegründet zu sein, denn auf amerikanischen Bahnen mit Falk'scher Stossverbindung, welche sich mehrere Jahre in Betrieb befinden, hat sich an diesen keine grössere Abnützung gezeigt, als an der Schiene selbst.

Für Berlin wurden von der ausführenden Gesellschaft max. 5 % Brüche
für Rouen, Paris, le Havre . . . . » 1 % »
für Lyon, Marseille . . . . » 0,75 % »
garantiert.

Durch die Anwendung des Falk'schen Verfahrens bei Strassenbahnstrecken wird ein sanftes, stossfreies Fahren erzielt, die Lebensdauer der Schienen selbst verlängert, und die Abnützung des rollenden Materials auf das geringste Mass herabgemindert, wodurch wieder die Zugkosten und die Kosten der Unterhaltung verringert werden. Auch die Ausgaben für die Streckenunterhaltung vermindern sich, da das vielfache Aufreissen des Pflasters zum Zwecke des Schienenrichtens und erneuter Stossunterstopfung, sowie Neupflasterung vermieden wird.

Das Geräusch, das die ausgefahrenen, nicht ganz abgeglätteten Schienenenden beim Darüberfahren verursachen, kann durch Gründung der Umgiessungen auf Beton bedeutend vermindert werden. Es ist also thatsächlich ein stoss- und geräuschloses Befahren gesichert.

Durch das Umgiessen von 80 bis 100 Schienenstössen wird das ausgerichtete Gleis nicht aus der Lage gebracht; die grosse Hitze erweist sich mithin keineswegs nachteilig. Der umgossene Stoss reisst nicht; doch entstanden bei grosser Kälte nicht selten in nächster Nähe der Vergiessung Risse an den durch Bohrung geschwächten Stellen des Schienensteges; diese Risse müssen wieder umgossen werden. Eine Stossumgiessung kostet 20.— Mk.; berechnet man die Ersparnis durch Wegfall der Halbstosskonstruktion mit Laschen u. s. w. und der elektrischen Schienenverbinder, so wird bei Neubauten mit geringen Mehrkosten ein stoss- und geräuschloses Gleis geschaffen, das an Haltbarkeit alle bis jetzt erdachten Konstruktionen übertreffen dürfte.

Gelegentlich der Chicagoer Weltausstellung wurden Maschinen zum elektrischen Zusammenschweissen der Schienenlängen am Verlegungsorte selbst vorgeführt. Seit jener Zeit haben die Amerikaner die verschiedensten Nutzanwendungen dieser Maschinen versucht.

Durch geschweisste Schienen würde man die besonderen Schienenverbinder entbehrlich machen und mit ihnen einen Teil der Unterhaltungskosten, denn die Ausbesserung eines im Pflaster liegenden Schienenverbinders ist durch die entstehenden Nebenarbeiten verhältnismässig kostspielig. Bei freiliegendem Oberbau, also bei Bahnen mit eigenem Bahnkörper, ist die Wartung und Reparatur des Schienenverbinders einfach auszuführen, sodass hier das Bedürfnis einer stosslosen Schiene für die Fortleitung des elektrischen Stromes weniger stark ins Gewicht fällt.

Im Jahre 1893 wurden in Boston die Schienenenden elektrisch zusammengeschweisst und in den zwei folgenden Jahren in verschiedenen Städten der Vereinigten Staaten bei 80 *km* die gleiche Anwendung gemacht.

Diese Verbindungsstellen sind, wenn sie gut geschweisst sind, ebenso fest wie die Schiene selbst. Dadurch wird erreicht, dass die spezifische Zugfestigkeit des verlegten Gleises so gross ist, dass die durch die Temperaturunterschiede bewirkten Spannungsdifferenzen von dem Material in sich selbst aufgenommen werden, ohne das Gleis seitlich oder vertikal zu verbiegen.

Über das Verfahren des Dr. Hans Goldschmidt-Essen, Schienen zur Schweisshitze zu erwärmen, liegen zwar zur Zeit noch keine praktischen Resultate der Bewährung im Grossen vor, dasselbe bietet indes bei seiner verblüffenden Einfachheit sehr viel Beachtenswertes. Es ist anzunehmen, dass Schienenschweissungen zukünftig nur nach diesem Verfahren vorgenommen werden, weil man weder elektrischen Strom zum Erwärmen des Eisens braucht, noch sonstige Schmelzöfen an

die Arbeitsstelle führen muss. In einem gewöhnlichen Schmelztiegel wird eine pulverisierte Masse, bestehend aus Eisenoxyd $Fe_2 O_3$ und Aluminium Al_2 durch ein Magnesiumzündholz entzündet. Es bildet sich hierbei Aluminium-Oxyd (Korund) $Al_2 O_3$ und metallisches Eisen Fe_2. Die Schmelztemperatur, die zum Schweissprozess mindestens 2000° C. sein muss, kann hier bis zu 3000° C. gebracht werden. Dieses, durch den Oxydationsprozess auf 3000° erwärmte Eisen wird nun in eine gewöhnliche Sandform, die den fertig verlegten und an der Stossfläche blank gemachten Schienenstoss mit etwa 1 *cm* Zwischenraum umgiebt, gegossen. Der im Tiegel oben schwimmende, wärmeschützende Korund umgiebt das Eisen mit einer dünnen Kruste und schützt es dadurch vor schneller Abkühlung. Vorher müssen die Schienenenden festgeklemmt werden, sodass sie durch die Wärmeentwickelung nicht auseinandergetrieben werden können. Der nunmehr entstehende molekulare Druck der Ausdehnung giebt den für die Schweissung nötigen Druck her. Nach Abkühlung der Schweissstelle kann das Gusseisen leicht entfernt werden, da die Korundschicht ein Loslösen begünstigt.

Die Vorteile der stosslosen Schiene für den elektrischen Strassenbahnbetrieb mögen hier nochmals zusammengefasst werden:

1. Geräuschloserer Gang der Wagen.

2. Schonung der Motoren durch Wegfall der harten, vertikalen Stösse.

3. Sanfteres, weniger nervenerschütterndes Fahren.

4. Gleichmässige Beanspruchung der Schienenbettung an allen Stellen des Gleises und infolgedessen auch grössere Haltbarkeit der Schiene.

5. Erzielung einer absolut festen Bettung, welche bekanntlich bis heute an den Schienenstössen noch nicht erreichbar geworden ist.

6. Denkbar beste Rückleitung für den elektrischen Strom.

7. Die Möglichkeit, Asphaltbeton für die isolierte Verlegung der Schiene anwenden zu können, da der spezifische Druck nicht den hohen Wert erreicht, als bei den durch Laschen verbundenen Schienenstössen, wobei allerdings vorausgesetzt werden muss, dass Asphaltbeton der spezifischen Beanspruchung überhaupt gewachsen ist, die man im allgemeinen an die Bettung stellen muss.

8. Bei Bergbahnen die leichte Anwendung von Klauenbremsen am Schienenkopf.

Es verlohnt sich, unter diesen verlockenden Aussichten die Gründe zu erforschen, welche uns bisher abgehalten haben, der stosslosen Schiene Vertrauen zu schenken.

Bei Betrachtung des Ausdehnungskoëffizienten für Eisen ($^1/_{100000}$) ergiebt sich, dass 1 *km* Gleis bei 1° C. sich um 0,010 *m* verlängert

bezw. verkürzt, d. h. dass bei dem Temperaturgefälle von $+30^0$ C. bis — 20^0 C. = 50^0 die Verlängerung bezw. Verkürzung 0,50 *m* beträgt. Eine Schiene von 10 *m* Länge besitzt demnach eine Längenausdehnung von 5 *mm*.

Aus der folgenden Rechnung ist ersichtlich, dass diese Molekularbewegung der Schiene thatsächlich nicht eintreten kann, da die Festigkeit der Schiene dem durch die Temperatur hervorgerufenen Spannungsunterschied Widerstand entgegensetzt. Die Schienen bleiben in der festen Verbindung unbeweglich und gleichen die Längenausdehnungen durch molekulare Verschiebungen aus. Bedingung hierfür ist allerdings, dass die Schweissstelle dieselbe Festigkeit besitzt wie die gewalzte Schiene, bezw. wie die durch die Temperatur bedingte veränderte Spannung der Schiene. Bildet die Schiene eine in sich geschlossene Kurve, so werden besondere Verankerungsfundamente überflüssig. Wie stark die Verankerungen für Schienen mit freiem Ende sein müssen, zeigt die Rechnung.

Ob das in unseren Gegenden herrschende Temperaturgefälle von 50^0 C. auf die im Pflaster liegenden Strassenbahnschienen übertragen wird, steht ausserdem sehr dahin, da nur die Lauffläche der Schiene der erwärmenden Luft bezw. den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, während die übrige Oberfläche von Wärme ausgleichendem Material (Pflaster, Erdboden, Feuchtigkeit) umgeben ist.

Über die zu verwendenden Schweissverfahren, Stromstärken und Apparate hat Köstler in seinem Werke »Über nordamerikanische Strassenbahnen« auf S. 72 ff. eingehend berichtet.

Die nachfolgende kurze Rechnung möge zeigen, dass geschweisste Schienen möglich sind, was nebenbei durch die Praxis bereits erwiesen wurde.

Das für Schienen verwendete Material besitzt eine absolute Festigkeit von 5000 *kg/qcm*. Der Elastizitätsmodul beträgt 2000000 *kg/qcm*. Der Temperaturkoëffizient = 0,001079 = $^1/_{927}$ für 100^0. Die Ausdehnungs- bezw. Zusammenziehungskraft einer Schiene bei Temperaturveränderung von t^0 C. ist $P = a \cdot E \cdot t \cdot F$, worin bedeutet:

a = (Ausdehnungs-) Temperaturkoëffizient für 1^0 = 0,00001079.
E = Elastizitätsmodul = 2000000.
F = Schienenquerschnitt in *qcm*.

Das Temperaturgefälle ist in unserer Gegend von —20 bis $+30^0$ C. = 50^0 C. Ein übliches Phönixprofil wiegt 40 *kg/m* Schiene. Deren Profil hat demnach einen Querschnitt von $129 \times 40 = 5160$ *qmm* = 52 *qcm*.

Die Schiene würde, wenn dies überhaupt möglich wäre, um 100% ihrer eigenen Länge ausgedehnt durch

$$2000000 \times 52 = 104000000 \text{ kg}.$$

1° C. Temperaturabnahme verändert die Länge der Schiene um 0,00001079 ihrer ursprünglichen Länge. 50° C. verändern sie um 0,0005395 ihrer Länge. Die Ausdehnungs- bezw. Zusammenziehungskraft ist für 50°: $P = a \cdot E \cdot t \cdot F$.

$$P = 0{,}0005395 \cdot 104000000 \; kg = 56100 \; kg.$$

Die absolute Festigkeit beträgt bei 52 *qcm* Querschnitt $52 \times 5000 = 260000$ *kg*, mithin wird die Schiene mit einer Sicherheit von $\frac{260000}{56100} \doteq 4{,}6$ beansprucht, wenn das gesamte Temperaturgefälle auftritt. Hiermit ist erwiesen, dass die Schiene noch innerhalb ihrer Elastizitätsgrenze beansprucht wird und mithin immer wieder in ihre jedem Temperaturgrade entsprechende Länge zurückgeht.

Es erübrigt noch zu betrachten, wie sich das Gleis bezw. die Schiene zu der ursprünglichen Lage verhält.

In der Geraden spricht das Gewicht der Schiene und der Reibungskoëffizient zwischen Schiene und Bettungsmaterial mit.

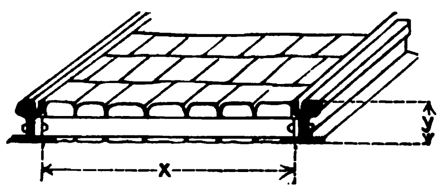


Fig. 62.

Das Gewicht für 1 *m* Schiene beträgt 40 *kg*. Der Reibungskoëffizient der Ruhe werde mit 0,5 angenommen, eine Zahl, die durch genauere Versuche noch festzustellen ist. Demnach würden für 1 *m* Schiene 20 *kg* Zugkraft erforderlich werden, um dieselbe von der Stelle zu bewegen. Daraus ergiebt sich, dass eine in gerader Linie verlegte Schiene erst in einer Entfernung von $\frac{56100}{20} = 2805$ *m* vom Endpunkt entfernt, durch ihr blosses Eigengewicht verankert wird, d. h. bei Strassenbahnen praktisch unbrauchbar.

In Wirklichkeit jedoch liegen die Verhältnisse günstiger. Zu dem Eigengewicht der Schiene kommt das ganze Gewicht des den Spurstangen bezw. den Schwellen vorgelagerten Erdreiches und Pflastermaterials hinzu. Bei freiliegendem Oberbau müssen die Schienen mit den Schwellen so verbunden sein, dass Längsverschiebungen der Schwellen in Richtung der Schiene nicht auftreten können.

Das spezifische Gewicht von Sand, Kies, Steinen soll mit 2 angenommen werden. Das fortzuschiebende Erdreich (Fig. 62) sei $x \cdot y \cdot 1$ *cbm* für 1 *m* Länge, d. h. wenn $y = 15$ *cm* angenommen wird:

	Breite	Höhe	Länge	kg	
bei Normalspur. . . .	1,4	0,15	1	2000	= 420 *kg*
» Meterspur	1,0	0,15	1	2000	= 300 »
» 60 *cm* Spur. . . .	0,6	0,15	1	2000	= 180 »

Der Reibungskoëffizient zwischen den schiebenden Erdmassen, bezw. zwischen dem Pflaster und seiner Schotterunterlage und zwischen Feinschotter und Grobschotter dürfte zwischen 0,75 und 1 liegen, mitunter sogar dürfte die Reibung überhaupt keine Rolle spielen, da die Steinschlagschichten ineinander greifen und somit Abscheerfestigkeit in Frage kommt.

Nur mit y = 0,75 gerechnet, ergiebt folgende Fundamentlasten:

bei Normalspur . $420 \cdot 0{,}75 + 20 = 335$ *kg/m*,
» Meterspur . . $300 \cdot 0{,}75 + 20 = 245$ »
» 60 *cm* Spur . $180 \cdot 0{,}75 + 20 = 155$ »

woraus sich ergiebt, dass die Verankerungsfähigkeit des Gleises beginnt bei einer Entfernung vom Endpunkt

bei Normalspur . $2 \times 56100 \times {}^1/_{335} = 335$ *m*,
» 1 *m* Spur . $2 \times 56100 \times {}^1/_{245} = 458$ «
» 60 *cm* Spur. $2 \times 56100 \times {}^1/_{155} = 724$ «

Es wird nun ein Leichtes sein, dem letzten Ende des Gleises entweder durch Einfügung eines Betonklotzes oder durch Einlassen eines Eisenpfahles in den Erdboden oder durch Abbiegen einer Schiene nach unten und Vorlage einer grösseren Fläche gegen das zu verschiebende Erdreich ein entsprechendes Widerlager zu geben.

Um z. B. den Maximalzug von 56100 *kg* in einem Betonklotz abzufangen, ist es erforderlich, demselben einen Inhalt von $56100 = x^3 \cdot 2000$; $x^3 = 28$ *cbm* zu geben. Hierbei wird angenommen, dass kein Gegendruck des Erdreichs stattfindet. Unter dessen Berücksichtigung stellt sich jedoch diese Verankerung so, dass grosse Kosten nicht entstehen.

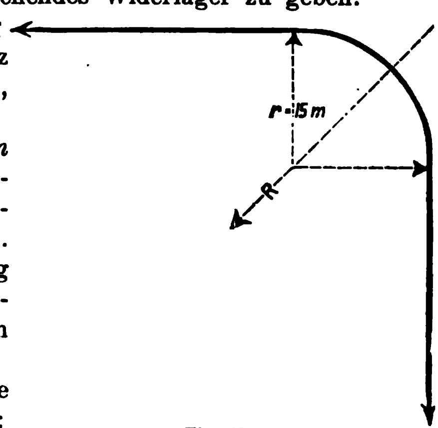


Fig. 63.

Die Verhältnisse in der Kurve gestalten sich folgendermassen:

Die grösste Beanspruchung tritt bei dem kleinsten Kurvenradius auf, wenn die Kurve am weitesten herumgeführt wird, d. h. im allgemeinen bei einer Viertelkreiskurve.

Somit sei hier als geringster Kurvenradius 15 *m* angenommen. Die Resultante der Zugkräfte (Fig. 63) ist $R = 2 \cdot z \cdot \sin 45^0 = 2 \cdot 56100 \cdot 0{,}7$; $R = 78500$ *kg*.

Das wirksame Widerlager wird gebildet aus der Fläche: Schienenhöhe 150 *mm*, Schienenlänge = ca. $^1/_6$ Kreis $= {}^1/_6 \cdot 2 \cdot 15 \cdot \pi = 14{,}2$ *m*,

$$14{,}2 \cdot 0{,}15 = 2{,}13 \; qm = 21\,300 \; qcm.$$

Mit dieser Fläche wird ein Druck auf das Erdreich ausgeübt mit einer spezifischen Pressung von

$$\frac{78\,500}{21\,300} = 3{,}7 \; kg/qcm,$$

Man ersieht aus Vorstehendem, dass es sich hier immer nur um Beanspruchungen handelt, die unseren allgemeinen Konstruktionsbedingungen nicht zuwiderlaufen.

c) Weichen, Herzstücke und Kreuzungen.

Den einzungigen Weichen mussten für den motorischen Betrieb die zweizungigen folgen. Die letztgenannte Weiche bietet eine grössere Sicherheit gegen Entgleisungen. Die Verstellung der Weichen erfolgt durch Hebel und durch Traversen, welche die beiden Zungen verbinden; die Feststellung derselben wird zweckmässig durch Gewichte oder Federn bewirkt, besonders dann, wenn, wie beim eingleisigen Betrieb, die zu stellende Weiche von hinten aufgeschnitten wird und von der Spitze nur im eingestellten Zustand befahren wird.

Die besten Weichen sind diejenigen, welche aus zusammengesetzten Schienen hergestellt werden. Das Gleiche gilt von den Kreuzungen und Herzstücken. Die Hartgusskreuzungen haben sich im Strassenbahnbetrieb nicht bewährt.

Das Neigungsverhältnis der Herzstücke wird 1 : 6 gewählt, jedoch sind mit dem Neigungsverhältnis 1 : 8 naturgemäss noch bessere Resultate erzielt worden, da sich dadurch die Entgleisungsgefahr vermindert hat.

Übergangsweichen, welche nur selten befahren werden, bedürfen keiner Herzstücke. Hier genügt ein einfacher Auflaufkeil, auf welchem der Spurkranz des Rades die Lauffläche erklettert, um über die Rille zu springen und hinter dem Vollschienen-Querschnitt wieder in die Schienenrille der Weiche hinab zu rollen.

d) Gleisbettung und Pflasterung.

Die Bettung des metallischen Oberbaues muss ebenso sorgfältig und fest hergestellt werden, wie dies bei den Hauptbahnen üblich geworden ist. Man kann sowohl das ganze Gleisbett ausheben

und eine durchgehende Bettung verlegen, oder, wenn man bereits guten Strassenuntergrund hat, einfache Bettungsgräben ausheben, wie dies in den Figuren 64 und 65 in beiden Ausführungen dar-

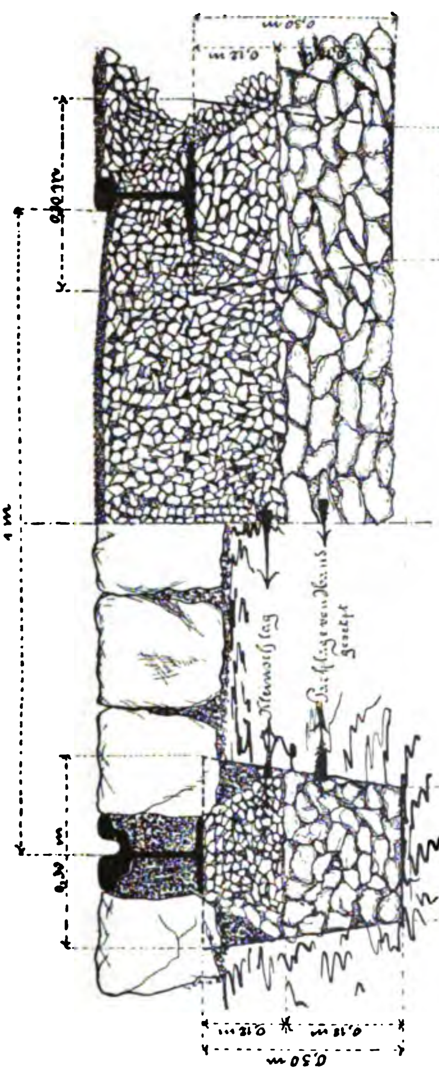


Fig. 64.

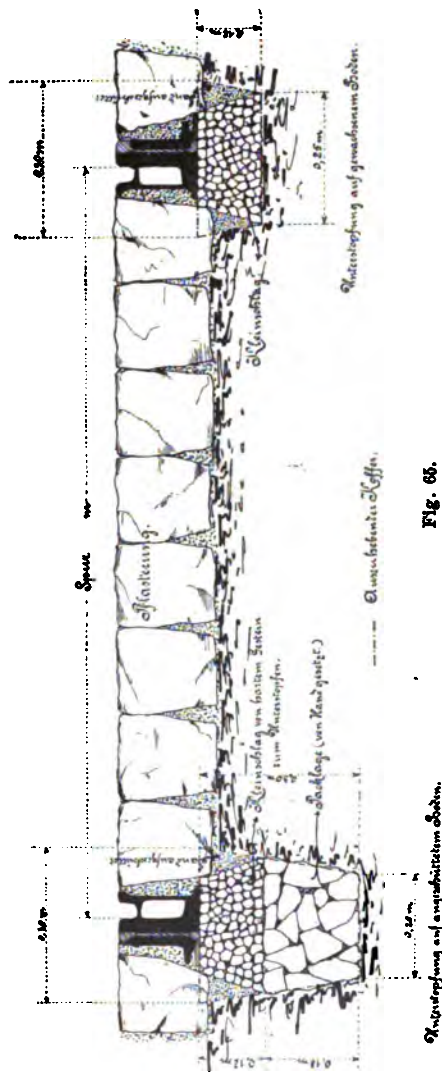


Fig. 65.

gestellt ist. Die unterste Schicht der Bettung wird aus grobem Gestein hergestellt und auf diesen Koffer legt sich dann ein feineres Steinbett. Die Unterbettung mit Einzelkoffern aus Packlage und

Steinschlag unter beiden Schienen empfiehlt sich nur dann, wenn die Koffer gut festgestampft werden können. Wenn dies nicht möglich ist, würden Gleissenkungen eintreten und kostspielige Nachstopfungen unvermeidlich sein. Die durchgehende Unterbettung, welche mit schweren Walzen festgetrieben werden kann, ist zwar teuerer als die Bettung mit Einzelkoffern, empfiehlt sich indes dann, wenn geeignetes Steinmaterial billig beschafft werden kann, weil dieses Gleisbett eine absolute Sicherheit und Dauerhaftigkeit in sich schliesst.

In weichem oder sumpfigem Erdreich wird mit Vorteil ein Betonbett von etwas mehr als der Gleisbreite verwendet, auf dem die Schienen mittels einer Stopfschicht von Kies wie auf einer gewöhnlichen Packlage aufruhen. Auch einzelne Betonlängskoffer unter den Schienen wurden mit gutem Erfolg verlegt, weil hierbei von einem mangelhaften Ausstampfen des Gleiskoffers nicht die Rede sein kann.

Je nachdem die Linie ein- oder zweigleisig angelegt werden soll, wird ein Koffer von der Breite der Spur + 0,6 *m* bezw. der doppelten Spur + Zwischenraum der beiden inneren Schienen + 0,6 *m* bei gewachsenem Boden von 0,12 *m* unter Schienenoberkante ausgehoben, welcher Raum durch Stopfmaterial ausgefüllt wird.

Wenn der Boden nicht genügende Widerstandsfähigkeit besitzt, wird derselbe bei gleicher Kofferbreite wie oben, bis auf 0,30 *m* unter Schienenoberkante ausgehoben und eine Packlage 0,18 *m* stark, aus hartem Gestein von Hand gesetzt, eingebracht, auf welche dann eine 0,12 *m* starke Schicht Kleinschlag, ebenfalls von hartem Gestein, am besten aus Basalt, oder wenn dieser nicht zu beschaffen, aus nicht zu grobem, sandfreiem Kies oder ähnlichem Material folgt. Diese Schicht wird festgestampft und gewalzt, wo angängig, mit der Dampfwalze, um einen festen Untergrund für die darauf liegenden Schienen zu schaffen.

Wenn die Strassenoberfläche zwischen und an den Schienen nicht neu hergestellt werden soll, so wird nicht die ganze oben angegebene Breite ausgehoben, sondern es werden nur Bettungsgräben gezogen, im Profil, wie sie Fig. 65 durch die — · — · — Linie zeigt.

Diese Schienenbettung erfolgt auf gleiche Weise, wie vorstehend gesagt. In diesem Falle müssen für die Spurstangen Spurstangengräben ausgehoben werden.

Bei Gleiskreuzungen werden die Kreuzungsstellen tiefer gestopft, und die Bettung kräftiger ausgeführt, da sich sonst an diesen Stellen sehr oft eine Senkung bemerkbar macht. Dasselbe gilt von der Verlegung von Weichen, bei welchen ferner das Anpassen der Schienenenden an die Weichen, wegen des sich hier nicht zu umgehenden Vollstosses, genau vorzunehmen ist.

Die unter den Stössen angewendeten Betonkörper haben verhältnismässig wenige Vorteile gebracht, da sie zu hart sind, dagegen will man mit einer Betonschicht unter dem elastischen Steinkoffer gute Resultate erzielt haben.

In grossstädtischen Strassendämmen, die aus Stampfasphalt auf Beton bestehen, findet eine vollständige Einbettung des Gleises in Beton statt. Zum Untergiessen der Schiene wird hierbei Cement, neuerdings auch Gussasphalt mit hoher Festigkeit verwendet.

Hölzerne Querschwellen sind auch zusammen mit Betonkoffern verwendet worden, wobei auf 10 *m* Rillenschiene 3 Querschwellen verlegt waren, auf welchen das Gleis ruhte, ehe der Beton abgebunden hatte, und die auch später eine zweckmässige Wirkung ausübten, indem sie das Dröhnen der Gleise verhinderten.

Ein Gleiskoffer, wie er in Fig. 65 dargestellt ist, kostet unter Verwendung von Quarzit für die Packlage und Basalt-Feingeschläge für die Stopfschicht 1,50 ℳ für 1 *m*.

Ganz unbeweglich ist kein Gleis, wie scharfe Beobachtungen und Messungen mit empfindlichen Tasterapparaten während der Vorüberfahrt von Wagen deutlich gezeigt haben. Die Bettung muss deshalb eine gewisse Elastizität haben, die Schienenfüsse müssen so breit sein, dass der spezifische Druck auf das Bett unter der rollenden Radlast nicht grösser als 2 *kg/qcm* wird. Natürlich spricht hierbei auch das Schienenprofil mit, um die Verteilung des Druckes auf eine grössere Länge des Schienenfusses zu bewirken. Die Bettung muss gut stopfbar und wasserdurchlässig sein. Thonfreier Kies ist ein gutes, Kleinschlag aus harten Steinarten ein besseres Stopfmaterial. Die Breite des ausgehobenen Erdreiches muss eine bequeme Handhabung der Stopfhacke gestatten.

Es erübrigt, nun noch einige Zahlen für Cement zu geben, welche den Versuchsresultaten der Charlottenburger mechanisch-technischen Versuchsanstalt entspringen, und welche von Geh. Rat Köpcke in der Z. d. V. D. Ing., 1897, Heft 41, S. 1134, veröffentlicht worden sind.

Bezeichnung und Mischungsverhältnis Cement, Sand, Steinschlag:			Druckfestigkeit nach einer Dauer der Erhärtung von 4 Wochen *kg/qcm*	13 Wochen *kg/qcm*	1 Jahr *kg/qcm*
Grundbau-Beton .	1 : 7 : 9	Würfel 400 *mm*	81	81—117	186
Pfeiler-Beton . .	1 : 6 : 8	» 400 »	107	144	154—226
Gewölbe-Beton . .	1 : 5 : 6½	» 400 »	95—172	197	272—400
Gelenkstein-Beton .	1 : 2½ : 2½	» 400 »	211	256	313
Einsatzstück-Beton	1 : 1 : 1¼	» 100 »	230—458	350—528	—
Gelenkstein-Beton .	1 : 2½ : 2½	als Modell von 742 *qmm* Querschnitt und 580 *mm* Höhe	48	—	—

Diese Zahlen sind, obgleich sie nicht direkt aus dem Strassenbau rühren, wertvoll genug, um für unsere Zwecke betrachtet zu werden.

Gelegentlich des Gleisbaues treten an den Eisenbahnbauer auch Anforderungen betreffs Pflasterung und Strassenbauanschluss heran.

Betrachten wir daher kurz die Herstellung der einzelnen Strassenbefestigungsarten und ihr Verhältnis zu den aufgestellten Forderungen. Zunächst sei die Steinschlagbahn, die Chaussierung oder Macadamisierung behandelt. Diese letztere Benennung geht bekanntlich auf den Namen des Erfinders dieser Strassenbefestigungsart, den schottischen Baumeister Mac-Adam, zurück. Die Herstellung erfolgt nach folgenden Grundsätzen: Nach dem für die Strasse gewählten Quer- und Längenprofil ist die Oberfläche um die 0,25—0,40 *m* betragende Dicke der Chaussierung tiefer zu legen. Auf diese Fläche werden grössere Steine von 10—18 *cm* Stärke aufgetragen. Sie sind mit ihren breiten Grundflächen möglichst dicht aneinander gepackt auf dem Boden aufzustellen, da sie das Fundament der Strassenfahrbahn abgeben. Darauf werden die sich nach oben öffnenden Zwischenräume mit etwas kleineren Steinen ausgekeilt, und die hierauf noch vorstehenden Ecken und Spitzen der grösseren Steine mit dem Steinhammer abgeschlagen. Hierdurch wird, je nach Festigkeit des Untergrundes und der beabsichtigten Gesamtdicke der Strassendecke, eine 15—30 *cm* dicke Steinschicht, die Packlage, gebildet. Auf diese Packlage wird nun die Decklage, die aus den eigentlichen Chaussierungssteinen besteht, aufgetragen. Für die Decklage sollen nur möglichst gleichgrosse Steine, die über eine Dicke von 6 *cm* nicht hinausgehen dürfen, verwendet werden. Die Decklage wird in 2—3 Schichten aufgebracht. Jede Schicht wird für sich durch das Darüberfahren von eisernen Walzen gedichtet, sodass die einzelnen Steine fest aneinander gepresst und die hohlen Zwischenräume vermindert werden. Vor den durch die Pferde gezogenen Chaussierungswalzen im Gewicht von 5000—10000 *kg* verdienen die Dampfwalzen im Gewicht von 15000—20000 *kg* entschieden den Vorzug.

Bei Reihenpflaster kommt direkt auf die Packlage eine Sandschicht, auf die alsdann die Pflastersteine gebettet werden.

Bei Cement- bezw. Asphaltpflaster wird der Beton ebenfalls direkt auf die Packlage aufgebracht und festgestampft. Die Decke aus Guss- oder Stampfasphalt wird nach Festwerden der Betonschicht gelegt.

Die Herstellungskosten des Gussasphalts betragen für das Quadratmeter 12—14 *M*. Bei dem Stampfasphalt belaufen sie sich für die gleiche Fläche auf 14—16 *M*. Diejenigen des Plattenasphalts übersteigen nur wenig die Kosten des Gussasphalts. Die jährlichen Unter-

haltungskosten sind bei dem Stampfasphalt je nach der Grösse des Verkehrs auf 40—60 ₰ für das Quadratmeter zu veranschlagen und einschliesslich der zeitweisen vollständigen Erneuerung der Asphaltdecke auf 1,00—1,20 ℳ. Je nach den Verhältnissen beläuft sich die Dauer der Asphaltstrassen auf 10—20 Jahre, sodass als Mittel 15 Jahre angenommen werden können.

e) Gleisverlegung.

Nachdem das Gleisbett in vorher beschriebener Weise ebenso wie auch das Strassenbett hergestellt ist, werden die Schienen so ausgelegt, dass der Schienenkopf mit der Strassenoberkante abschneidet; etwa auftretende Niveaudifferenzen werden durch provisorisch unter die Schienen gekeilte Holzklötze ausgeglichen.

Nachdem der ausgelegten Schienenstrecke ein stetiger Verlauf gegeben ist, sodass also keine Ecken und scharfen Übergänge vorkommen und alle Bedingungen bezüglich des Richtens und Passens erfüllt sind, werden die Laschen und Stossverbindungen angepasst, und verschraubt, bezw. vernietet.

Bei Asphaltbelag deckt man die Laschen noch durch ein Schutzblech ab, um das Ansetzen des Asphaltes an die Muttern zu verhüten.

Gleichzeitig mit diesen Arbeiten ist auf die richtige Einhaltung der Spurweite und der richtigen Entfernung der Gleismitten bei Doppelgleis zu achten, ebenso auf die vorgeschriebene Spurerweiterung oder Vergrösserung der Mittenentfernung der Gleisachsen bei Kurven.

Die Spur wird durch Spurstangen eingehalten, welche in Entfernungen von 2,5 *m* zwischen die Schienen geschraubt werden. Die Spurstangen werden gewöhnlich aus Flacheisen 60 bis 90×10 *mm* mit angeschweissten Winkelenden hergestellt.

Auf die Arbeit des Unterstopfens ist grosse Sorgfalt zu verwenden, da es hauptsächlich davon abhängt, ob ein Gleis lange im Betrieb bleiben kann, ohne dass sich Nacharbeiten, Hebungen an eingesunkenen Stellen u. s. w. nötig machen. Das Stopfmaterial ist harter Kleinschlag oder Kies, mit Cement und Sand vermengt; das zum Stopfen verwendete Gerät heisst Stopfhacke. Das Stopfen wird so ausgeführt, dass sich ein Kegel bildet, welcher vom Schienenfuss aus sich nach unten verbreitert.

Bei Vornahme dieser Arbeit werden auch die oben erwähnten, provisorisch untergekeilten Holzklötze wieder entfernt und durch Stopfmaterial ersetzt.

Bei Kreuzungen mit Staatsbahnen müssen die behördlichen Vorschriften eingehalten werden; das Strassenbahngleis darf in den

meisten Fällen nicht mit dem Staatsbahngleis mechanisch verbunden werden, wie auch das Einkreuzen des letzteren behufs leichteren, stossfreieren Überganges selten gestattet wird; es ist aus diesen Gründen auf eine besonders sorgfältige Unterstopfung und Unterbettung Wert zu legen, um dem Strassenbahngleis genügende Widerstandsfähigkeit gegen die auftretenden Schläge zu verleihen.

Die zur Herstellung des Oberbaues und zur Schienenverlegung nötigen Werkzeuge sind: Spitzhacken, Stopfhacken, Spaten, Schaufeln, Brecheisen, Hammer, Meissel, Richtkreuz, Spurmass, Lotwage, Schienenbiegmaschine, Schienenzangen, Schienensäge, Mutterschlüssel, Reibahlen, Schienenfeilen u. s. w.

Nach Beendigung des Stopfens wird der neben den Schienen frei bleibende Raum für Vornahme von Pflasterung oder Chaussierung durch Aufschütten von Sand u. s. w. vorbereitet.

Um zwischen den Schienen und dem Pflaster, welches direkt an die Schienen anschliessen soll, keine schädlichen Hohlräume entstehen zu lassen, wird der freie Raum, welcher sich aus dem Profil der Schiene ergiebt, durch Cementbeton oder durch Formsteine ausgefüllt.

Bei Vignol-Schienen muss der Schienenkopf nach aussen mit der Strassenoberkante abschliessen, während derselbe innen frei bleiben muss, um dem Spurkranz freien Platz zu lassen.

Die Unterbettung einer Vignol-Schiene und einer Rillenschiene zeigt Fig. 64 und ist daraus zu ersehen, dass der zwischen den Schienen liegende Teil der Strasse etwas gewölbt ist, um das Ablaufen des Wassers zu erleichtern.

Auch beim einteiligen Rillenschienensystem wird oft eine Entwässerung der Rille vorgesehen, wenn der Schienenstrang in kanalisierten Strassen liegt; in Entfernungen der Kanalisationseinsteigeöffnungen werden Löcher in den Anschluss des Schienenkopfes an den Steg gekreuzt und durch Abläufe mit diesen Öffnungen verbunden. Diese Entwässerung hat den Vorteil, dass nicht alle Feuchtigkeit, welche die Rille führt, an den Stossverbindungen einsickert und den ohnehin am stärksten beanspruchten Teil der Unterbettung in seiner Widerstandsfähigkeit schwächt.

Nachdem die Pflasterung oder Chaussierung ausgeführt worden ist, werden die Stossstellen oft noch überfeilt, um selbst kleine Unebenheiten des Stosses zu beseitigen. Zu diesen Arbeiten wird ein Gerät verwendet, zu dessen Handhabung zwei Leute nötig sind. Es besteht aus einer vierkantigen Grobfeile, welche im Haltebügel gedreht werden kann, dass alle Seiten gleichmässig abgenutzt werden. Durch Hin- und Herbewegen auf dem Schienenkopf wird ein vollkommen gleichmässiger Übergang der einen Schiene zur anderen erzielt.

Über eine Maschine zum Verlegen von Gleisen hat die Nürnberger Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft in der Z. d. V. d. Ing. 1898, H. 21, S. 575 ff. sehr interessante Angaben geliefert, auf welche hier nur verwiesen werden soll. Die zur Darstellung gebrachte Verlegungs- und Transportweise hat für besondere Gleisbauten grossen Wert, berührt aber den Strassenbahnbau weniger.

f) Werkzeuge für Gleisbau und Unterhaltung.

Trotz genauester Gleispläne macht es sich beim Gleisbau erforderlich, Schienenpassstücke auf der Strecke herzurichten und



Fig. 66.

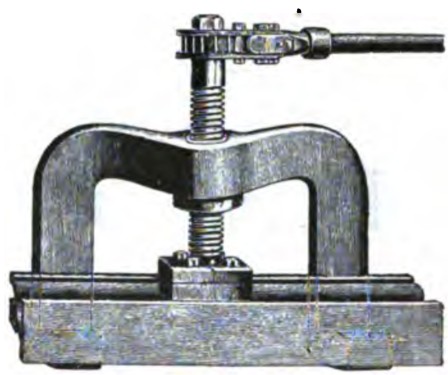


Fig. 67.

Kurvenschienen nachzubiegen. Für die erstere Thätigkeit dient die in Fig. 66 dargestellte Schienensäge. Das diese Säge tragende Gestell wird mittels Schraubstockbacken an der Schiene befestigt. Mittels Zahnradübersetzung wird die Kreissäge angetrieben. Der Vorschub erfolgt durch Schnecke und Schneckenrad.

Zum Aneinanderpassen der Kurvenschienen dient die in Fig. 67 dargestellte Hand-Schienenbiegemaschine, welche die Ausübung eines grossen Druckes gestattet. Die Klauen werden an die Schienen angesetzt und das Druckstück vermittelst des Gewindebolzens angepresst. Dieser wird entweder durch eine Knarre (s. Fig.) gedreht und vorwärtsbewegt, in welchem Falle das Muttergewinde im Bügel selbst sein muss; oder es wird eine geführte Mutter vermittelst sehr langer Schlüssel, an welchen oft mehrere Mann angreifen, angezogen und dadurch die Schiene in der geforderten Weise gerichtet.

In der Fig. 68 ist eine Schienenbohrmaschine dargestellt, welche dazu dient, in bereits verlegte Gleise Steglöcher zum Einschlagen der Schienenverbinder zu bohren. Das langwierige Bohren der Löcher mittels der Bohrknarre wird hierdurch gänzlich vermieden. Ein ganz besonderer Vorteil dieser schnellarbeitenden Bohrmaschine wird sich dann erreichen lassen, wenn eine bereits im Betrieb befindliche Bahn, also z. B. eine Pferdebahn, während des Betriebes in elektrischen Betrieb umgewandelt wird. Während bei dem heute üblichen Bohrverfahren mittels der Knarre der Arbeiter seine Thätigkeit bei jedem herannahenden Wagen unterbrechen muss, weil die Zeit des Bohrens gewöhnlich länger dauert, als das Betriebsintervall beträgt, kann er hier in der kürzesten Zeit das Loch



Fig. 68.

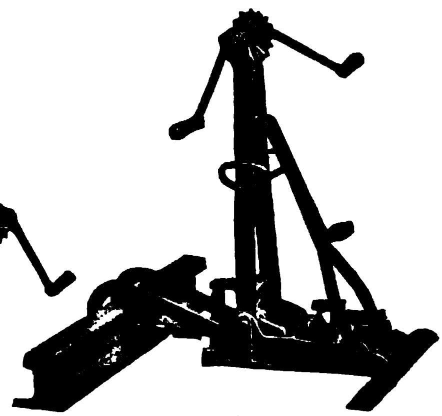


Fig. 69.

zwischen den beiden aufeinander folgenden Wagen fertig bohren; es bedarf zum Einstellen des Bohrers nur des Umklappens des Gestelles. Die Bohrmaschine wird zunächst eingestellt und festgelegt, wie dies Fig. 68 zeigt, und sobald ein Wagen die zu bohrende Stelle verlassen hat, so aufgestellt, wie in Fig. 69 dargestellt ist. Es bedarf dabei keiner Verschraubung, auch kann, falls das Bohren des Loches länger dauern sollte, als es dem Verkehrsintervall entspricht, ebenso wie bei der Bohrknarre die Arbeit unterbrochen werden, ohne dass der Bohrer herausgezogen zu werden braucht.

Die Strassenbahngesellschaft in Chicago benutzt für die Beobachtung des Zustandes ihrer Gleise und Gleisunterlagen einen von M. K. Bowen entworfenen Gleis-Indikator-Wagen nachfolgender Konstruktion.

Fünf mit Bleistiften versehene Indikatorarme zeichnen auf einem bewegten Papierstreifen die Höhen- und Tiefenlagen jeder Schiene,

die verschiedenen Höhen beider Schienen zu einander, die Veränderung des Spurmasses und die veränderliche Zugkraft automatisch auf. Aus der Fig. 70 ist ersichtlich, dass der Wagen aus einer schweren, hölzernen Plattform besteht, welche ohne Federn auf einem vierrädrigen Gestell aufruht. In der Mitte dieser beiden Achsenpaare ist ein drittes Räderpaar gelagert. Dieses ist in der Mitte geteilt, und trägt eine eingekapselte Feder zwischen den inneren Enden. Die Feder ist zwischen zwei Buchsen festgehalten, von welchen die eine gross genug ist, um bequem über die andere geschoben werden zu können. Diese Buchsen haben starke Böden, in welche konische Spitzen eingedreht sind. Diese Spitzen B und C drücken gegen die Enden der Halbachsen. Die Achsen können sich frei gegen einander bewegen, die Thätigkeit der Feder drückt die Radflanschen gegen die Schienen. Die bei B befestigte Schnur wird über die Rolle C und D geführt und überträgt jede durch veränderliches Spurmass hervorgebrachte Bewegung auf den obersten Indikatorhebel. Die äusseren Enden der Halbachsen können sich ebenfalls frei auf- und abbewegen. Von den Enden der Achsen werden Schnüre über eine Anzahl Rollen, wie

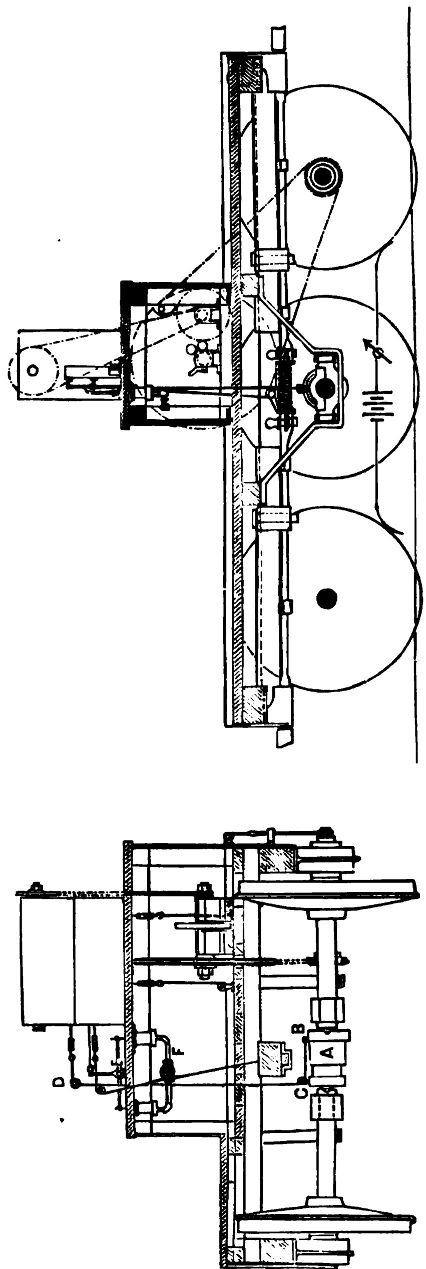


Fig. 70.

dies aus der Querschnitts-Figur ersichtlich ist, zu den von unten eintreffenden Indikatorhebeln geführt, welche die Höhen- und Tiefenlagen des Gleises am Indikator kenntlich machen.

Die im Längsschnitt ersichtliche Zugstange ist ebenso wie die dritte Achse in der Mitte geteilt und wird durch eine Feder zusammengehalten. .Diese Zugstange wird von Rollenlagern getragen, welche die Reibung vermindern und zudem gestatten, dass die volle Zugkraft auf die Federn übertragen wird.

Ehe die Schnur zu dem betreffenden untersten, horizontalen Indikatorhebel geführt wird, geht sie über eine am anderen Ende der Feder befestigte Rolle.

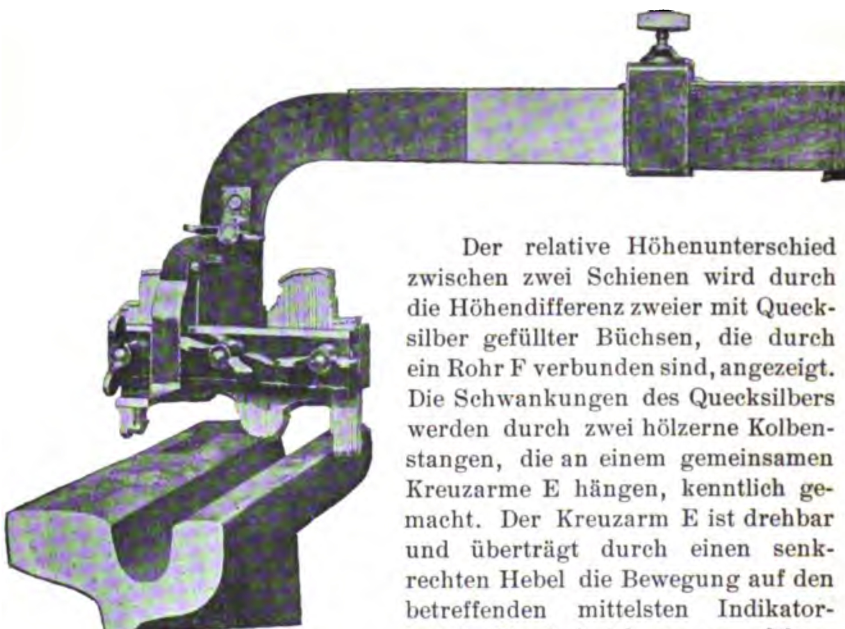


Fig. 71.

Der relative Höhenunterschied zwischen zwei Schienen wird durch die Höhendifferenz zweier mit Quecksilber gefüllter Büchsen, die durch ein Rohr F verbunden sind, angezeigt. Die Schwankungen des Quecksilbers werden durch zwei hölzerne Kolbenstangen, die an einem gemeinsamen Kreuzarme E hängen, kenntlich gemacht. Der Kreuzarm E ist drehbar und überträgt durch einen senkrechten Hebel die Bewegung auf den betreffenden mittelsten Indikatorhebel. Die Aufzeichnungen erfolgen auf einem Papierstreifen, der um eine von der Wagenachse bewegte Trommel gelegt wird. 1 *m* Papierstreifen entspricht einem Kilometer Fahrt.

Der Indikator-Wagen hat ein Gewicht von 2 *t* und wird mit einer Geschwindigkeit von 10 *km* in der Stunde von einem Motorwagen mit gleichmässiger Geschwindigkeit bewegt. Der Wert dieses Wagens für einen grossen Betrieb ist sicherlich nicht zu unterschätzen, da er auf einfachste Weise dem Betriebsleiter zu erkennen giebt, wo eine Verbesserung des Gleises am nötigsten ist. Zugleich liesse sich mit diesem Wagen der Zustand der elektrischen Schienenverbindungen an den Stössen untersuchen, indem zwischen die erste und letzte

Achse, die durch den Holzrahmen voneinander isoliert sind, eine Batterie und ein elektrisches Widerstands-Messinstrument eingeschaltet wird, wie dies schematisch unten angedeutet ist.

Um die Schienenprofile im neuen oder auch im abgenutzten Zustande prüfen zu können, hat der Regierungskommissar für die elektrischen Bahnen in Sachsen, Oberbaurat Ulbricht für die Zwecke des Kommissariates einen Profilzeichner für Schienenprofile konstruiert, den Fig. 71 zeigt. Derselbe ist zugleich verwendbar, um Spur- und Rillenerweiterungen zu prüfen bezw. zu bestimmen, und schliesslich auch, um Radbandagenprofile aufzunehmen. Der Apparat ermöglicht es, gesetzlichen Vorschriften genau nachzukommen und der Bahnverwaltung jede erwünschte Kontrolle über den Zustand der Schienen, des Gleises und der Räder auszuüben.

Der Profilprüfer nimmt stets zwei zusammengehörige Profile auf einmal auf, die dann mit dem genauen oder um ein bestimmtes Mass verminderten Abstand in ihr erdurch Marken gekennzeichneten, richtigen Lage aneinandergepasst werden können. . Die Profile abgenutzter Schienen und Bandagen ein und derselben Bahnstrecke lassen sich demnach in ihrer ursprünglichen Zusammenpassung aufeinander decken, sodass ein gutes Bild von den Vorgängen bei der Abnutzung gewonnen werden kann, was namentlich für die Frage der zweckmässigen Spurerweiterung und der Grösse der zwischen Rad



Fig. 71 a.



Fig. 72.

und Schiene zu gebenden Luft von Bedeutung ist. Der Apparat lässt sich für jede Spurweite mittels des teleskopartig verschiebbaren Horizontalgestänges einstellen.

Die Diagramme werden durch Anpressung der kleinen, an den 1 *mm* breiten Stahlplättchen angebrachten Horizontalschneiden in das Papier hervorgebracht, sodass ein treppenförmiges Gebilde ent-

steht, dessen äussere und innere Ecken je nach der Aufnahme zu verbinden sind und dann die Profillinie geben.

Die Elsässische Maschinenbau-Anstalt in Grafenstaden vertreibt die in Fig. 71a u. 72 dargestellte Schienenhebemaschine (D. R. G.-M. 61891), welche den früher benutzten Hebebaum ersetzt, wenn behufs Ausrichten der Höhenlage des Gleises dasselbe gehoben werden muss. Die innere Konstruktion gleicht der gewöhnlichen Wagenwinde. Der Fuss ist entsprechend der weniger festen Unterlage vergrössert. Diese Winde kann auch in der Werkstatt zu anderen Verrichtungen benutzt werden.

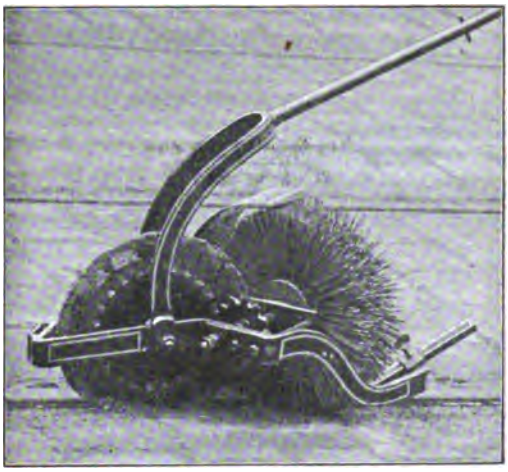


Fig. 73.

Das Reinhalten der Rillenschienen von Staub, Steinen, Strassenkot und Schnee ist für die gute Erhaltung des Kontaktes und den leichten, geräuschlosen Gang der Strassenbahnwagen eine Vorbedingung. Wichtiger noch als beim Pferdebahnbetriebe wird dieser Faktor bei dem elektrischen Betriebe, da hierbei die Schienen meistens als Stromleiter benützt werden und ohne stetige, metallische Verbindung zwischen Rad und Schiene starker Stromverbrauch und Feuern zwischen Rad und Schiene hervorgerufen wird.

Eine Hand-Schienenreinigungs-Maschine wird durch Fig. 73 dargestellt.

Dieselbe genügt sowohl in ökonomischer als auch betriebstechnischer Hinsicht den Anforderungen im praktischen Strassenbahnbetriebe.

Sie besteht aus dem Triebrad, welches in der Schienenrille Führung erhält und durch Übersetzung einen Piasavabesen in rotierende Bewegung versetzt. Die fremden Bestandteile in der Schienenrille werden vorher durch einen an der Maschine angebrachten Hebel aufgelockert, emporgehoben und dann ebenfalls durch den Besen hinweggeführt.

Die Handhabe an der Maschine ist verstellbar und sonach jeder Körpergrösse anzupassen.

Die ganze Maschine ist aus Schmiedeeisen hergestellt, wiegt nur etwa 15 *kg* und ist so konstruiert, dass sie weder geschmiert zu

werden braucht, noch selbst bei der ungeschicktesten Behandlung ihre Brauchbarkeit einbüsst. Der Besen hält bei täglichem Gebrauch etwa 1 Jahr und ist leicht durch einen neuen zu ersetzen.

Zur Anwendung des Apparates bedarf es keiner besonderen Instruktion, der Arbeiter setzt dieselbe mit dem Triebrad und dem Hebel in die Rille, erfasst die Handhabe und schiebt die Maschine im scharfen Schritt gehend vor sich her.

Der Preis stellt sich für eine vollständige Maschine auf 35 Mk. Ein Ersatzbesen kostet 4 Mk.

g) Schienenlieferungs-Bedingungen.

Als allgemeinen Anhaltspunkt für Schienenlieferungsbedingungen seien die folgenden, aus der Praxis geholten Bedingungen angeführt. Dieselben sind allerdings äusserst milde, da sie aus einer Zeit stammen, in der die Walzwerke mit Lieferungen überhäuft waren.

Für Bestellungen und Abnahmen von Schienen haben sich naturgemäss Gesetze herausgebildet, welche sowohl für das Material selbst, als auch für dessen Bearbeitung massgebende Normen geschaffen haben. Im allgemeinen wird man die, für die Bahnen mit eigenem Bahnkörper üblichen Schienenlieferungs-Bestimmungen beibehalten können. Für Rillenschienen gelten wegen ihrer ganz besonderen Herstellungsweise einige Punkte, auf die besonders zu achten ist. So z. B. ist der vorletzte und letzte Walzungsgang bestimmend für die Herstellung der Rillen. Da die Abkühlung des Blockes bis zum Ende der Walzung schon so weit vorgeschritten ist, dass allzu starke Eingriffe für die Formveränderung des Materials vermieden werden müssen, muss auf die Herstellung und Beschaffenheitder Rille bei der Abnahmeein ganz besonderes Augenmerk gerichtet werden. Der Schienenkopf wird in den meisten Fällen beim Beginn der Rille Verschiedenheiten in der Homogenität des Materials zeigen.

§ 1. Schienenmaterial.

Die Schienen sind aus Stahl bester Qualität herzustellen. Das Material muss eine Festigkeit von 60 *kg/qmm* besitzen. (Der Spezialstahl des Phönix-Walzwerkes in Ruhrort besitzt sogar eine Festigkeit von 75 *kg/qmm*, bei allerdings sehr hohem Preise, indessen kann 55 bis 60 *kg/qmm* bei normalem Preise gefordert werden.)

Die Einengung des Querschnittes muss gleich oder grösser als 25% sein, das spezifische Gewicht soll 7,85 betragen.

§ 2. Form, Länge und äussere Beschaffenheit der Schienen.

Die Schienen müssen genau nach der Normal- und Profilzeichnung ausgeführt werden. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit der Kaliber-

Erhaltung wird in der Höhe des Profiles eine Abweichung von 0,5 *mm* auf oder ab, und in der Fussbreite eine Abweichung von 5 *mm* nach abwärts zugestanden.

Die Normallänge der Schienen beträgt 10 *m*. Von der zu liefernden Gesamtlänge können 5% nach Wahl des liefernden Werkes in Schienen geringerer Länge als der Normallänge geliefert werden und zwar bis zu Längen von 7,5 *m* herab, wobei diese Schienen verkürzter Längen in paarweise gleichen Längen zu liefern sind. Die Abweichung von der Schienenlänge darf höchstens $2\frac{1}{2}$ *mm* mehr oder weniger betragen.

An den Schienen dürfen weder Risse noch sonstige Fehler, welche ihre Widerstandsfähigkeit beeinträchtigen oder sich als Unebenheiten insbesondere an den Lauf- und Laschenanschlussflächen bemerkbar machen, vorkommen. Es ist auch nicht gestattet, derartige Fehler durch Nacharbeiten zu beheben und irgend einen Teil einer Schiene nach fertigem Walzen zur Vornahme solcher Reparaturen zu hämmern, zu feilen oder gar wieder zu erhitzen. Die Schienen müssen in der Längenrichtung sorgfältig gerade gerichtet, und die Stirnflächen senkrecht zur Längsachse der Schiene mittels Kreissägen geschnitten und hierauf mit Fraisen bearbeitet werden. Die Grate an den Löchern, an Einklinkungen und sonstigen Schnittflächen sind zu beseitigen. Die Bogenschienen sind entsprechend dem vom Besteller beizustellenden Kurvenbande zu biegen, mit weisser Ölfarbe zu bezeichnen und der Radius kenntlich zu machen. Die Köpfe der äusseren Bogenschienen sind weiss, die der inneren Bogenschienen rot zu bezeichnen. Das Biegen der Bogenschienen ist bei Bogen von einem geringeren Radius als 100 *m* nach Schablonen auszuführen, welche vom Besteller beizustellen sind. Desgleichen sollen die Schienen verkürzter Längen am Kopfe mit roter Ölfarbe gekennzeichnet, und die Längen der Schienen mit Zahlen in roter Ölfarbe aufgeschrieben werden.

Jede Schiene muss die Marke des Werkes und die Jahreszahl der Erzeugung deutlich eingewalzt erhalten.

§ 3. Lochung der Schienen.

Die Lochung der Schienen erfolgt, sowohl was Form, Grösse und Entfernung der Löcher anbelangt, nach der zu Grunde liegenden Zeichnung. Die Einteilung der Lochung für verkürzte Schienen ist vom Besteller mittels massstäblicher Zeichnung anzugeben. In den Dimensionen der Löcher und in den Entfernungen derselben unter sich und von den Schienenenden sind Abweichungen von den in den Zeichnungen eingeschriebenen Massen nur bis zu 1 *mm* gestattet.

§ 4. Umfang der Lieferung. Höhe der Mehr- oder Minderlieferung.

Die Mengen der zu liefernden Schienen werden vor der Bestellung genau bestimmt. Der Lieferant ist jedoch verpflichtet, dem Gewichte nach weitere 10% Schienen zu den Preisen und den Bedingungen des Vertrages zu liefern, wenn ihm wenigstens 4 Wochen vor dem Schlusstermin der Ablieferung vom Besteller hierfür ein schriftlicher Auftrag zukommt. Ebenso ist der Lieferant verpflichtet, eine Verminderung der ihm übertragenen Aufträge eintreten zu lassen, wenn der Besteller eine solche schriftlich verlangt. Diese Verminderung darf jedoch 10% des noch nicht abgewalzten und jedenfalls 5% des bestellten ganzen Schienenquantums dem Gewichte nach nicht übersteigen.

§ 5. Erprobung.

Dem Besteller steht das Recht zu, durch ein Organ unter Mitwirkung des Lieferanten die Schienen am Fabrikationsorte auf ihre Beschaffenheit zu erproben. Zu diesem Behufe wird das ganze zur Ablieferung bestimmte Schienenquantum in Partien von je 200 Stück abgeteilt und von jeder solchen Partie eine Schiene ausgewählt, um mit derselben in ungelochtem Zustande folgende Schlag- und Belastungsproben durchzuführen:

a) Belastungsproben.

Die Schiene wird in der Mitte zwischen zwei unnachgiebigen 1 *m* voneinander entfernten Unterlagen einem Drucke von ... *kg* ausgesetzt. Dabei darf die Schiene keine bleibende Durchbiegung annehmen und bei einer fünf Minuten andauernden Erhöhung des Druckes auf das Doppelte nicht brechen.

b) Schlagprobe.

Auf einem geaichten Schlagwerke wird durch das Herabfallen eines Fallgewichtes aus entsprechender Höhe auf die Mitte der zwischen zwei um 1 *m* voneinander entfernten Unterlagen gelagerten Schiene auf die letztere ein Schlag von ... *mkg* lebendiger Kraft geführt. Diese Schläge werden so lange fortgesetzt, bis ein Durchbiegen der Schiene um 110 *mm* erreicht wird. Sinkt die Temperatur in jenem Raume, in welchem die Versuche vorgenommen werden, unter 20° C. bis zu 5° C., so wird die lebendige Kraft für die Schläge um 6%, bei weiterem Sinken der Temperatur unter 5° C. aber um 12% reduziert. Bei den derart vorgenommenen Schlagproben darf ein

Bruch der Schiene nicht erfolgen. Bricht eine Schiene oder zeigt eine der Probeschienen nicht die verlangte Widerstandsfähigkeit, so wird derselben Schienenpartie eine zweite Schiene entnommen und den gleichen Proben unterworfen. Entsprechen auch diese Wiederholungsproben den vorgeschriebenen Bedingungen nicht, so werden die betreffenden Proben auf eine grössere Anzahl von Schienen ausgedehnt und zwar im Maximum auf 5 % der zu erprobenden Schienenpartie von 200 Stück. Sollten dabei mehr als 10 % der so untersuchten Schienen den vorgeschriebenen Bedingungen nicht entsprochen haben, so wird die betreffende Schienenpartie zurückgewiesen.

Die Kosten der Übernahme, insoweit sie sich auf die im Werke selbst durchgeführten mechanischen Erprobungen beziehen, hat das liefernde Werk zu bestreiten.

§ 6. Bestimmung des Normalgewichtes.

Die Bestimmung des Normalgewichtes erfolgt durch Abwage von 100 Stück normal langen Schienen. Aus dem sich bei der Abwage ergebenden Gewichte wird das Normalgewicht einer meterlangen Schiene berechnet. Dieses so erhobene und protokollarisch festgesetzte Normalgewicht bleibt für sämtliche Teillieferungen eines Abschlusses aufrecht.

Zur Bestimmung des wirklichen Gewichtes werden bei jeder Teilübernahme von den nach ihren sonstigen Eigenschaften zur Übernahme geeignet befundenen Schienen wenigstens 5 % abgewogen und nach dem wirklichen Gewichte das effektive Gesamtgewicht der übernommenen Schienen der ganzen Partie berechnet.

Ergiebt sich hierbei gegenüber dem Normalgewichte ein Mehrgewicht, so wird die Zahlung nur nach dem aus dem Normalgewicht berechneten Gesamtgewichte der übernommenen Schienen zuzüglich einer zulässigen Abweichung von 1 % geleistet. Bei einem darüber hinausgehenden Mehrgewichte wird nur das derart ermittelte Gewicht bezahlt, so dass eine Vergütung für ein Mehrgewicht von mehr als 1 % nicht geleistet wird. Bei einem konstatierten Mindergewichte wird nur das wirkliche Gewicht bezahlt, sofern dieses das Normalgewicht nicht um mehr als 2 % unterschreitet. Ist die Unterschreitung grösser als 2 % des nach der dem Normalgewichte sich berechnenden Gesamtgewichtes, so kann der Besteller die Schienen zurückweisen.

§ 7. Übernahme.

Der Zeitpunkt des Beginnes der Abwalzung der Schienen ist dem Besteller 8 Tage vorher bekannt zu geben. Sollte das übernehmende Organ des Bestellers nicht rechtzeitig im Werke eintreffen,

so wird unbekümmert darum mit der Herstellung der Schienen begonnen bezw. fortgefahren und es werden eventuell auch die vorgeschriebenen Proben von den Organen des Werkes allein durchgeführt und gelten dann die Proben ebenso, als ob sie im Beisein eines Vertreters des Bestellers durchgeführt worden wären. Diejenigen Schienen, welche den Lieferungsbedingungen entsprechend befunden worden sind, werden mittels eines Stempels besonders bezeichnet und dürfen nur solche abgestempelte Schienen zur Ablieferung gelangen.

§ 8. Liefertermin.

Die Ablieferungstermine werden im Vertrage bezw. im Schlussbriefe festgesetzt und gelten stets für die Ablieferung ab Werk und unter der Voraussetzung rechtzeitiger und genügender Beistellung von Wagen seitens der in Betracht kommenden Eisenbahnverwaltungen. Bei Überschreitung irgend eines der vertragsgemäss festgesetzten Ablieferungstermine ist der Besteller berechtigt, dem Lieferanten hinsichtlich der verspätet zur Übernahme im Fabrikationsorte gelangenden Schienen eine Verzugsstrafe in Abzug zu bringen, welche für jede Woche der Überschreitung der festgesetzten Termine 1 % des vereinbarten Preises des nicht rechtzeitig abgelieferten Schienenquantums beträgt, wobei Tage einer angefangenen Woche als eine volle Woche gerechnet werden. Weitergehende, welchen Namen immer habende Entschädigungsansprüche als diese Verzugsstrafe stehen dem Besteller nicht zu.

§ 9. Haftung und Ersatzleistung.

Der Lieferant haftet für die Güte der gelieferten Schienen auf die Dauer von drei Jahren in dem Umfange, dass er alle jene Schienen während der Haftzeit ersetzt, welche bei ordnungsmässiger Befahrung infolge nachweisbarer Materialmängel gebrochen, am Kopfe zerdrückt oder in sonstiger Weise aus dieser Ursache unbrauchbar werden. Die Ersatzleistung kann nach Wahl des Lieferanten in Schienen oder aber in Geld erfolgen. In letzterem Falle hat der Lieferant gegen Rückgabe der als ersatzpflichtig erkannten Schienen jenen Betrag dem Besteller zu zahlen, welcher sich aus dem Gewichte dieser schadhaften Schienen und dem dem Abschlusse zu Grunde liegenden Preise ergiebt. Die im Sinne vorstehender Bestimmung dem Lieferanten obliegende Haftzeit beginnt mit dem Tage, an welchem das bestellte Quantum nach vollzogener Übernahme im Werke von diesem vollständig abgeschickt ist.

§ 10. Übernahme nach Ablauf der Haftzeit.

Für die der Haftzeit unterworfenen Schienen erfolgt die endgiltige Übernahme nach Ablauf der Haftzeit. Dieselbe besteht in der von einem Organe des Lieferanten in Gemeinschaft mit einem Organe des Bestellers vorzunehmenden Besichtigung aller zur betreffenden Lieferung gehörenden, in der Bahn liegenden Schienen. Zu der Anzahl der in der Bahn schadhaft vorgefundenen und durch den Lieferanten zu ersetzenden Schienen werden noch die innerhalb der Haftzeit unbrauchbar gewordenen und vom Lieferanten noch nicht ersetzten Schienen zugezählt. Über das Ergebnis der Schlussrevision wird ein gemeinschaftliches Protokoll aufgenommen. Zur Durchführung der Übernahme hat der Besteller dem liefernden Werke rechtzeitig die Aufforderung zukommen zu lassen, damit das letztere seinen Vertreter zur Übernahme entsenden kann.

Ersatzansprüche, welche seitens des Bestellers nach Ablauf der Haftzeit gestellt werden, werden nicht berücksichtigt.

3. Die Schienenleitung.

Die erste elektrisch, mit 110 Volt betriebene Bahn war bekanntlich die kleine Bahn in Gross-Lichterfelde bei Berlin. Man hatte hier sofort die Bedeutung der Laufschienen als Stromleiter richtig erkannt und benutzte beide von einander isolierten Schienenstränge für den Stromkreis. Die Schienenstösse waren mittels elastischer Kupferstreifen elektrisch miteinander verbunden, weil man den Laschen nicht genügenden metallischen Kontakt zutraute, besonders wenn die Berührungsstellen durch Rost bedeckt waren.

Bei den späteren elektrischen Bahnen hatte man wieder vollständig auf die Leitungsfähigkeit der Schienen verzichtet, und legte beide Leiter oberirdisch an.

Der Amerikaner vereinigte beide Methoden und nutzte wieder den Gleis-Querschnitt zur Stromleitung aus, indem Gleis und oberirdische Leitung hintereinander geschaltet wurden.

Mr. H. F. Parshall, ein bekannter amerikanischer Bahningenieur, äusserte sich über die Schienenleitung folgendermassen:

»Wie bekannt, fände sich in den Vereinigten Staaten gerade bei dieser die Ursache von vielen Störungen. Man hätte dieselben von Anfang an vermeiden können, wenn man die Arbeiten nach gesicherten und bekannten Grundsätzen ausgeführt hätte, und es wäre nicht schwer gewesen, diesen Grundsätzen zu folgen, da man wusste, dass die Verbindung durch die Schienenverbinder und durch Klemmverbindungen hergestellt werden muss. Nun hätte man bezüglich

der Klemmverbindungen bereits genügende Erfahrungen bei den Elektricitätswerken gesammelt. Man hätte gewusst, dass man bei Klemmverbindungen bei guten Kontaktflächen und unter starkem Druck nicht über etwa 2 Amp. für das *qmm* gehen kann. Sie wären auch aus den unterirdischen Leitungsanlagen mit der Verbindung von Kupfer und Eisen vertraut gewesen und hätten gewusst, dass man bei diesen nicht über 0,4 Amp. für das *qmm* gehen kann. Es wäre daher nicht zu verstehen, warum diese gesicherten Erfahrungen bei Strassenbahnanlagen unbeachtet gelassen seien; denn bei diesen wäre man bis zu 7 Amp. für das *qmm* gegangen. Damit sei dann eine unmittelbare Ursache für Störungen gegeben gewesen. Man hätte dieselben vermieden, wenn man die Verbindung angemessen dimensioniert und der Kontaktfläche bei 7 Amp. für das *qmm* Querschnitt der Schiene die 20fache Abmessung dieses Querschnittes gegeben hätte. Bei grossen Anlagen, wie z. B. in der Brooklyner, in welcher 12000 — 15000 Amp. bei 600 Volt ausgegeben werden, würden allerdings die Kontaktflächen zu gross. Aber in diesem Falle hätte man sich mit elektrischer Schweissung geholfen, indem man eine Verbindungsplatte an die Schienenenden anschweisste.«

Es ist üblich geworden, von einer Rückleitung des Betriebsstromes durch die Schienen zu sprechen, weil man gewöhnt ist, bei Gleichstromkreisen eine bestimmte Stromrichtung zu verfolgen. Da aber bei Bahnanlagen je nach den Verhältnissen die Schienenleitung sowohl den positiven als auch den negativen Pol führen kann, darf man von einer Schienenrückleitung im allgemeinen nicht sprechen. Auch verlangt die Anschauungsweise keineswegs eine solche Bezeichnung, denn die Wirkungen der Schienenleitung nach aussen, die hier nur in Betracht kommen, sind für die Praxis die gleichen bei Benutzung der Fahrschienen für positive als für negative Stromrichtung. Wenn z. B. aus elektrolytischen Gründen der positive Pol an die Fahrschiene gelegt wird, oder wenn beim Dreileiterbahnsystem die Schiene als Mittelleiter dient, oder wenn schliesslich die Bahn mit Drehstrom oder Wechselstrom betrieben wird, so trifft der Zustand einer Stromrückleitung durch die Schienen ganz gewiss nicht zu.

Wenn man also allgemein von einer Schienenrückleitung spricht, so ist diese Bezeichnung direkt als falsch zu bezeichnen und sollte vermieden werden, ehe sie sich unausrottbar eingewurzelt hat.

Für die Schliessung des Stromkreises dient sozusagen der gesamte Bahnkörper, vor allem natürlich das Gleis selbst. Da Gleis und Erdboden an dem gleichen Pol liegen, können dieselben jederzeit miteinander verbunden bleiben. Man hatte früher sogar

die wirksamsten Mittel angewandt, um Schiene und Erde mittels tiefer Erdplatten elektrisch gut miteinander zu verbinden.

Da aber aus Gründen, auf die in einem späteren Absatz näher eingegangen wird, die Erde nach Möglichkeit von der Teilnahme an der Stromführung ausgeschlossen werden soll, liegt es im Interesse des Bahnbauers, das Gleis selbst gut leitend herzustellen.

a. Schienenverbinder.

Die Leitungsfähigkeit der Schienen ist in Anbetracht ihres Querschnittes eine ziemlich hohe, mit Rücksicht aber auf die Laschenverbindung an den Stössen, welche mit der Zeit durch isolierende Rostschichten die rein metallische Oberfläche an den Berührungsstellen einbüsst, in ihrer Gesamtheit viel zu wünschen übrig lässt, hat man für die Stromleitung die besondere Verbindung der Schienenenden mittels kupferner oder eiserner Bügel bewirkt und sucht dadurch zugleich zu erreichen, dass die Erde für die Stromleitung möglichst nicht mitbenutzt wird.

Das Bestreben, mit den billigsten Mitteln das vollkommenste zu erreichen, hat grundsätzlich zu drei verschiedenen Konstruktionen geführt.

Die erste Konstruktion war die bereits erwähnte mit den Erdplatten. Hier wird entweder jede einzelne Schiene, oder eine grössere Anzahl von Schienen mit einer metallischen Erdplatte verbunden. Diese Methode ist indessen bei guter Ausführung die teuerste wegen der zumeist sehr tief zu verlegenden Erdplatten und heute nicht mehr im Gebrauch.

Die zweite Konstruktion ist charakterisiert durch einen in der Mitte des Gleises liegenden blanken Kupferdraht, welcher für jede Schienenlänge eine Abzweigung besitzt. Die Abzweigung ist an beliebiger Stelle mit der Schiene vernietet. Der Hauptvorteil dieser Anordnung ist der, dass ein auftretender Verbindungsfehler nicht für den Gesamtleitungswiderstand in Betracht kommt; als Nachteil ist zu bezeichnen, dass das Leitungsvermögen der Schienen nicht ausgenutzt wird, falls nicht eine Kombination mit der nachfolgenden Konstruktion ausgeführt wird.

Eine von Reger ausgebildete Konstruktion (D. R. P. 101467) erfüllt die soeben genannten Bedingungen, Fig. 74 stellt diesen Verbinder im Schnitt in zur Montage vorbereiteten, und Fig. 75 im montierten Zustande dar; während Fig. 76 die fertige Verbindung in der Ansicht zeigt.

Ein Bolzen B mit einem Bunde oder Ansatz b hat in letzterem eine diametrale Bohrung d. Durch diese wird der zur Verbindung

auf einander folgender Bolzen dienende Draht oder Bügel hindurchgeführt.

Diese Bohrung hat den Vorteil, dass vor der Montage schon die Bolzen perlenartig auf den Draht aufgereiht werden können, sodass bei deren Anbringung nur jeweils der betreffende Bolzen an Ort

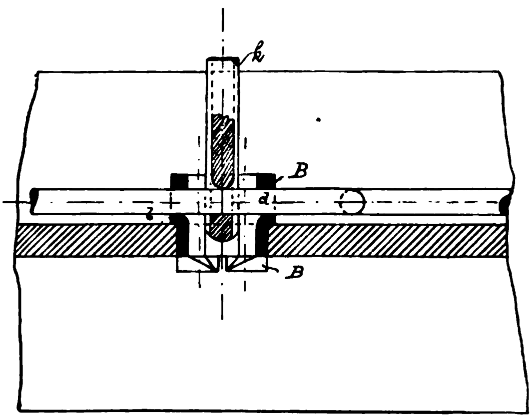


Fig. 74.

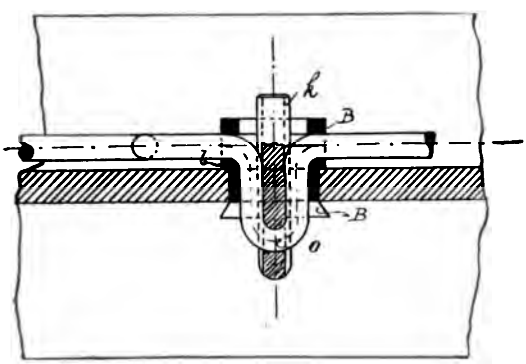


Fig. 75.

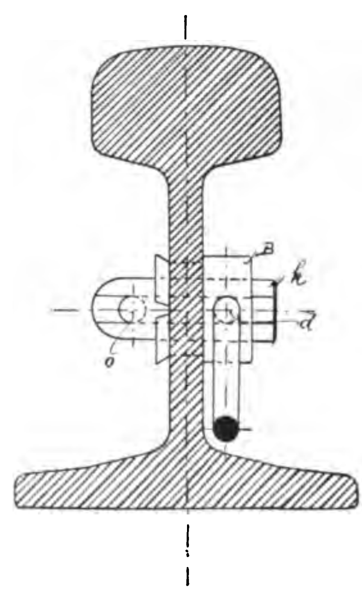


Fig. 76.

und Stelle gerückt und in die in der Schiene vorgesehene Bohrung hineingesteckt zu werden braucht.

Ein Keil k dient zur Befestigung des Drahtes in dem Bolzen. Die an seinem unteren Ende befindliche Bohrung o bildet gewissermassen ein Zwischenglied der diametralen Bohrung des Bolzenbundes. Es kann demnach der Keil ebenfalls vor der Montage schon in die Keilöffnung des Bolzens B bis zu den korrespondierenden Bohrungen d und o eingeführt und auf den Draht mit dem Bolzen zusammen aufgereiht werden. Beim Eintreiben des Keiles in den Bolzen nimmt

ersterer den Draht mit, welcher sich in die zu beiden Seiten des Keiles bleibenden kreisförmigen Oeffnungen einzwängt.

Die Dicke des Keiles ist so bemessen, dass er den Bolzen bei seinem Eindringen derartig auseinanderpresst, dass sich seine Wandung eng an die Innenfläche der in dem Schienensteg vorgesehenen Bohrung anlegt. Der auf der anderen Seite des Schienensteges vorstehende Teil des Bolzens wird bei weiterem Eindringen des Keiles aufgetrieben, sodass ein nietkopfähnlicher Rückhalt entsteht, der in Verbindung mit dem Bunde des Bolzens eine Verschiebung des letzteren in der Längsachse unmöglich macht.

Die im Vorstehenden beschriebene, eigentümliche Konstruktion des Verbinders macht ihn tauglich nicht allein als einzelne Bügel zur Verbindung zweier aufeinanderfolgender oder gegenüberliegender

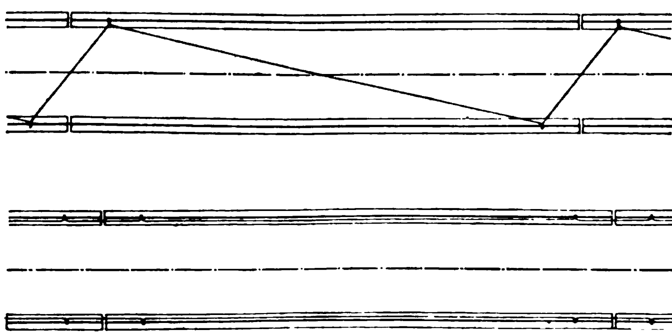


Fig. 77.

Schienen, sondern gestattet auch eine elektrisch leitende Verbindung zwischen einer dem Gleis entlang gelegten besonderen Rückleitung und den Schienen, den Schienen unter sich in der Aufeinanderfolge, querüber, und endlich querüber und den Schienen in der Aufeinanderfolge herzustellen. Fig. 77 stellt solche Fälle dar.

Die Montage des Verbinders ist sehr einfach.

Bei Verwendung des Verbinders als Bügel ist es nur nötig, auf jedes Ende des als Bügel dienenden Drahtes einen Bolzen mit eingelassenem Keil aufzuschieben, den Bolzen in die zu seiner Aufnahme im Schienensteg befindliche Bohrung einzustecken, und mit einem mittelgrossen Hammer den Keil so weit einzutreiben, bis auf der entgegengesetzten Seite der Bolzen einen nietkopfähnlichen Ansatz zeigt. Nunmehr kann der Draht nach Wunsch gebogen werden.

Sollen die Verbinder aber zur Befestigung einer besonderen Rückleitung mit den Schienen verwendet werden, so würde sich die Montage etwa auf nachfolgende Weise am zweckmässigsten gestalten:

Der zur Rückleitung dienende Kupferdraht wird auf einer Haspel aufgehaspelt und auf sein letztes Ende die zur Befestigung benötigten Verbinder mit den eingelassenen Keilen perlenartig aufgereiht. Man beginnt nun mit dem am äussersten Ende befindlichen Bolzen, steckt ihn in die zu seiner Aufnahme bestimmte Bohrung des Schienensteges, und nachdem der Keil eingetrieben ist, schiebt man die übrigen Verbinder unter Abhaspeln des Drahtes auf diesem weiter, bis der zweite Verbinder an die zu seiner Aufnahme im Schienensteg bestimmte Oeffnung kommt, befestigt diesen und fährt so fort bis zum letzten Verbinder.

Stellt sich nun aber die Notwendigkeit heraus, eine schadhaft gewordene Schiene auszuwechseln, so kann dies etwa auf nachfolgende Weise geschehen:

Eine Schiene lässt sich dadurch leicht von der Rückleitung lösen, dass man die Bohrung d des Bolzens B nach oben hin auf ihren Durchmesser (etwa mit Hülfe eines Kreuzmeissels, der den Durchmesser der Bohrung zur Breite hat) öffnet, und sodann mit einem Hammer den Keil k und mit ihm den Draht der Rückleitung so weit zurücktreibt, bis beide aus dem Bolzen B heraus und somit auch von der Schiene befreit sind. Der Bolzen B lässt sich sodann auch leicht aus dem Schienensteg entfernen, kann aber freilich zum Befestigen der Leitung nicht wieder benutzt werden.

Mit einem Verbinder, dessen Bohrung schon von vornherein nach oben hin offen ist, welche somit das Aussehen eines Schlitzes erhalten hat, und mit einem Keil, dessen Bohrung ebenfalls, aber nach unten hin, offen ist, kann man mit Leichtigkeit die bereits liegende kontinuierliche Rückleitung mit der neu eingebauten Schiene wieder verbinden.

Der Bolzen wird wieder in die zu seiner Aufnahme bestimmte Bohrung im Schienenstege gesteckt, der Draht der kontinuierlichen Rückleitung in den obengenannten Schlitz gelegt, der Keil darüber gesteckt und eingetrieben.

Um einer nochmaligen Biegung des Rückleitungsdrahtes an derselben Stelle aus dem Wege zu gehen, ist es nur erforderlich, die Löcher in einer anderen Entfernung vom Schienenstoss zu bohren, als bei der auszuwechselnden Schiene und hier die neuen Bolzen einzutreiben.

Der zur Verwendung kommende Rückleitungsdraht muss ausgeglühter und ganz weicher Kupferdraht sein.

Die dritte und jetzt allgemein angewandte Verbindung wird bewirkt durch einen kurzen Kupfer- oder Eisendraht, welcher die Laschenlänge überragt und kurz vor und hinter der Lasche mit den Schienenenden vernietet wird, wie Fig. 78 zeigt, oder welche zwischen

Laschen und Schienensteg angebracht wird, wie Fig. 79 zeigt. Diese letztere Anordnung schützt den Verbinder besonders gut und besitzt, da er nur kurz zu sein braucht, einen geringen Widerstand. Der Vorteil beider Konstruktionen ist der der Billigkeit, jedoch wirkt eine fehlerhafte Verbindung auf den Wert des gesamten Gleiswiderstandes. Da aber die Erde durch die Berührung der Schienenoberfläche genügend Strom überleitet — man hat bis zu 40% Erd-

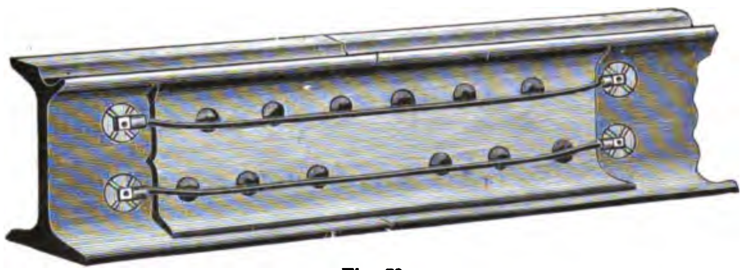


Fig. 78.

strom bei guter Schienenverbindung gemessen — so scheint dieser etwaige Fehler wenig auf sich zu haben; immerhin muss er durch die Güte der Konstruktion vermieden werden.

Die Verbindung der Schienen ein und desselben Gleises querüber erübrigt sich, da der Wagen selbst mit seinen Rädern und Achsen



Fig. 79.

genügend Querverbindungen während des Betriebes schafft; dagegen empfiehlt es sich, zwei nebeneinander herlaufende Gleise ab und zu miteinander zu verbinden, wie etwa bei dem Reger'schen Verbinder.

Man benutzt für die Verbindungen zumeist Kupferdraht. Eisendraht würde indessen galvanische Vorgänge zwischen den verschiedenen Metallen verhindern. Da nämlich die Metalle Eisen, Kupfer, Zink, Zinn u. s. w. in unmittelbarer Berührung, zum Teil unter Zutritt von salzhaltiger Feuchtigkeit stehen, ist die Annahme gerechtfertigt, dass hierbei Berührungselektrizität auftritt, deren

dauernde Thätigkeit auf die Strukturverhältnisse der Berührungsflächen einen schädlichen Einfluss ausüben wird.

Um dies nach Möglichkeit zu verhindern, versieht man die Schienenverbinder zweckmässig mit säurefestem Anstrich und vergiesst die Verbindungsstelle mit Asphalt.

Da Kupfer beim Nieten spröde wird und deshalb leicht abbricht, ist es zweckmässig, wenigstens die Nietenden aus Eisen herzustellen. Fig. 80 zeigt die Werkstattzeichnung des am meisten verbreiteten Schienenverbinders.

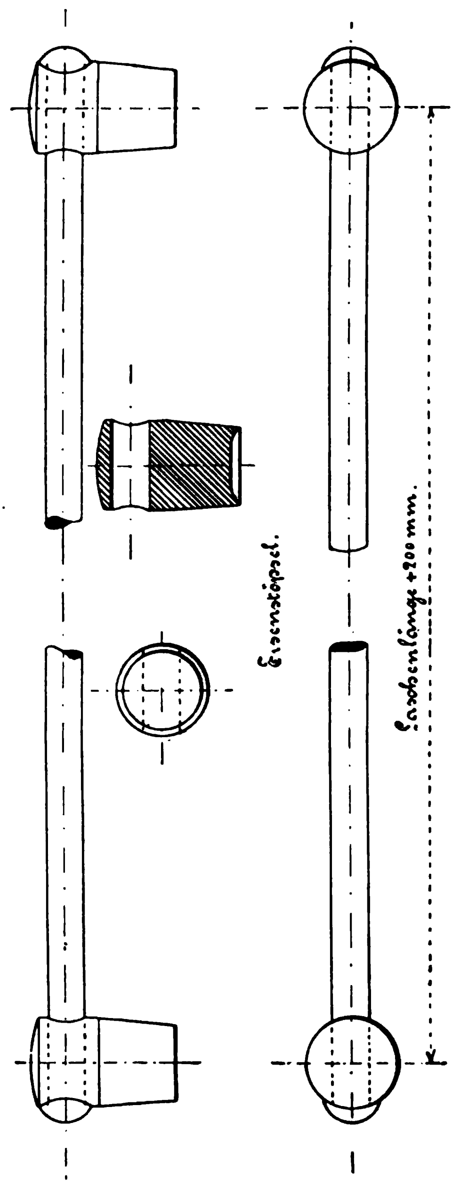


Fig. 80.

Die etwas konischen oder cylindrischen, verzinnten Eisenstöpsel sind fest mit dem Kupferdraht verlötet. Die Stöpsel werden durch das mittels Reibahle blank aufgeriebene Loch des Schienensteges gesteckt und vernietet.

Der »Chicago Rail Bond« ist in Fig. 81 dargestellt. Hier wird durch den Stöpsel B die Wandung der Hülse A äusserst fest und innig an die Schienenlochwandung a angepresst. Dieser Verbinder besteht aus einem ausgeglühten, möglichst chemisch reinen, polierten Kupferdraht mit einem Durchmesser von 8 bis 12 *mm* und ist 700 bis 1000 *mm* lang. Das Ende des Drahtes wird durch maschinellen Druck zu einer Hülse oder Muffe A zusammengestaucht und zur bequemen Einführung in das

Schienenloch nahe den Laschen leicht zugespitzt. Die Muffe ist hohl und wird nach Einführung in das Schienenloch durch den Stöpsel (Nietkeil) behufs inniger Anschmiegung an die Schiene auseinander getrieben. Der Keil wird später als Nietkopf gegen den Schienensteg geschlagen.

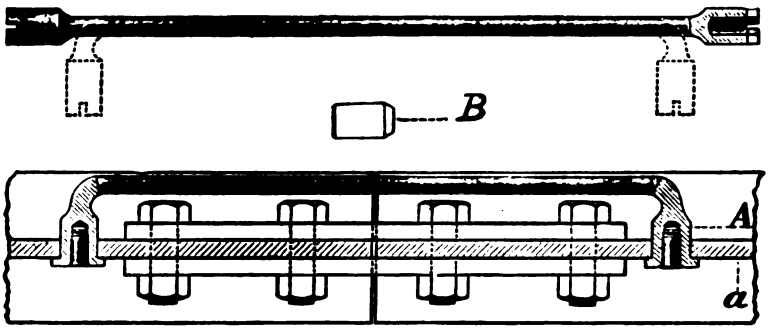


Fig. 81.

Eine einfachere und billigere Verbindung wird durch eine stählerne Klemmbuchse (Fig. 82) bewirkt, welche aus einem kurzen, an einem Ende zugeschärften Stückchen Stahlrohr besteht. Das Röhrchen ist

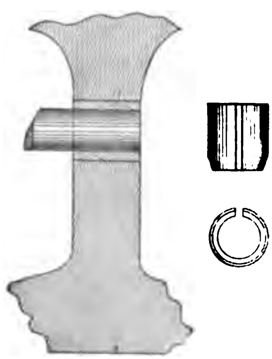


Fig. 82.

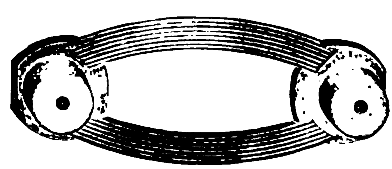


Fig. 83.

aufgeschnitten und umschliesst, wenn zusammengedrückt, den verbindenden Kupferdraht mit starker Pressung. In den Schienensteg wird nun ein Loch gebohrt, das genau die Weite hat wie der Umfang des zusammengedrückten Ringes. Das Ende des Kupferdrahtes wird zunächst durch das Loch gesteckt, sodass es um die Länge des Klemmringes auf der anderen Seite hervorragt; dann setzt man den Klemmring auf das durchgesteckte Ende und zwar so, dass sein zugeschärftes Ende dem Loche zugekehrt ist. Darauf treibt man

den Ring mit dem Hammer in das Loch, wobei das durchgesteckte Ende des Kupferdrahtes zurückgenommen und unter starkem Druck in das Bohrloch gebracht wird.

Fig. 83 zeigt einen, Chicago Atkinson genannten, aus elastischen Seilen zusammengestellten Schienenverbinder, wie derselbe vielfach



Fig. 84.

in Amerika Verwendung gefunden hat. Die Kupferseile sind in die Stöpsel eingelötet. Fig. 84 zeigt einen sehr steifen, aber aus einem

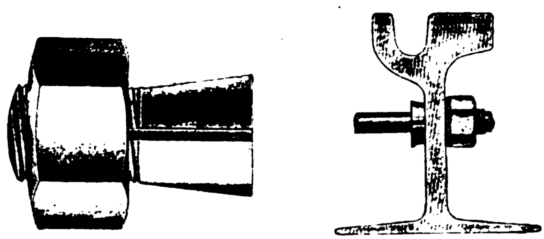


Fig. 85.

Stück hergestellten Verbinder (The Rieth Rail Bond), der ebenso wie der in Fig. 79 dargestellte Verbinder innerhalb der Schienenlaschen liegt.

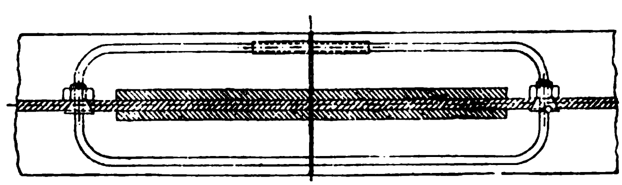


Fig. 86.

Der in den Figuren 85 und 86 dargestellte und unter dem Namen »Berlin« bekannt gewordene Schienenverbinder wird von der Gesellschaft für Strassenbahn-Bedarf-Berlin hergestellt und vertrieben.

Dieser Schienenverbinder setzt sich zusammen aus zwei Verschraubungen und dem diese verbindenden Kupferdraht. Die Ver-

schraubung selbst besteht aus einem Bolzen und einer Sechskantmutter. Der Bolzen ist aus gezogenem Eisen verfertigt und besitzt eine Gesamtlänge von ca. 40 *mm*, deren eine Hälfte mit einer Steigung von ca. 19 : 23 *mm* konisch abgedreht ist, während die andere Hälfte das Gewinde = $^3/_4$" engl. trägt. Der Bolzen ist in seiner Längsachse durchbohrt, im konischen Teil mit einem bis zum Loch durchgehenden Schlitz versehen und vollständig verzinnt, um nach seiner Verwendung einer Oxydation an den so wichtigen Kontaktstellen möglichst vorzubeugen. Sechskantmuttern mit auf etwa 4 *mm* tief ausgebohrtem Gewinde sind zu bevorzugen, damit ein zweifellos sicheres Anlegen der Mutter an den Schienensteg bei etwa vorstehendem Grat am Loch der Schiene erreicht wird.

Bezüglich der Verwendung oder Anbringung dieser Schienenverbinder erübrigt nur zu bemerken, dass in einer Entfernung von ca. 30 *cm* jeden Schienenendes ein Loch von entsprechender Weite (18 bis 19 *mm*) gebohrt, dieses mit einer dem Konus des Bolzens entsprechenden Reibahle aufgerieben, der verzinnte Bolzen eingesetzt und nach Einstecken des verzinnten Kupferdrahtes die Mutter fest angezogen wird. Bei dem Festziehen der Mutter schmiegt sich unter entsprechendem Zusammendrücken des Schlitzes einerseits der konische Teil des Bolzens innig an das Schienenstegloch, wie auch der Kupferdraht von den Lochwandungen des Bolzens gleichzeitig fest von allen Seiten umschlossen wird.

Über die beiden Kupferdrahtenden wird eine verzinnte Messingmuffe gezogen und mit dem Kupferdraht verlötet. Diese Verwendungsart zeigt Fig. 86.

Zur Verringerung der Arbeitsthätigkeit auf der Strecke bestellt man die Schienen im Walzwerk gleich mit den Löchern, sodass diese vor dem Einsetzen der Bolzen nur noch aufgerieben werden müssen. Letzteres darf natürlich erst unmittelbar vor dem Einsetzen der Bolzen und somit auf der Strecke geschehen, damit sich dem Bolzen vollständig blanke Kontaktstellen bieten.

Über die Länge der Schienenverbinder lässt sich nur noch weniges sagen.

Bei dem fest unterstützten Schienenstoss der Schwellenschiene kann der Verbinder so kurz sein, dass er die Lasche überragt und für die Ausdehnung der Schiene genügend Beweglichkeit gestattet, indem die Verbindungslinie der Nietlöcher eine entsprechende Kurve bildet.

Bei dem Vignolschienenoberbau auf Querschwellen ist darauf zu achten, dass der meist schwebende Stoss beim Überfahren des Rades nicht durch seine Beweglichkeit in vertikaler Richtung den Schienenverbinder löst oder bricht. Man muss hier die Regel auf-

stellen, dass die Nietung des Verbinders an einer fest unterstützten Stelle des Gleises, bezw. der Schiene stattfinden muss, d. h. also über der Querschwellenmitte.

Dass man den Verbinder aus Rücksicht auf die Billigkeit desselben und auf die Widerstandsverringerung des gesamten Gleises möglichst kurz zu machen versucht, ist selbstverständlich.

Die beste Schienenleitung wird erreicht, wenn eine Verschweissung der Schienenenden vorgenommen wird.

Die Montage der Schienenverbinder muss sehr sorgfältig geschehen, da nötig werdende Reparaturen infolge Aufreissens des Pflasters grosse Kosten verursachen.

Wenn bei zu stark belasteter Strecke und schwachem Schienenprofil der Schienenquerschnitt nicht genügt, um den Strom mit dem verlangten geringen Spannungsabfall zu leiten, macht sich das Legen von den Schienen parallel geschalteter Leitungen nötig. Diese bestehen teils aus blanken, neben den Schienen herlaufenden Kupferdrähten, die in gleicher Weise wie oben, oder durch Kabelschuhe

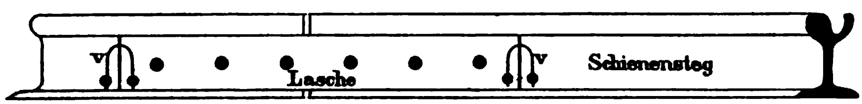


Fig. 87.

an die Schienen angeschlossen werden, oder auch aus isolierten Kabeln, welche auf kürzestem Wege zur Kraftstation zurückführen; auch hier finden Kabelschuhe zum Anschluss Verwendung. Die Anschlussstellen sind vom Rost zu befreien, sauber zu putzen und wenn möglich, zu verzinnen. Auf die Verbindung mit den Schienen ist wieder grösste Sorgfalt zu legen.

Über Schienenspeiseleitungen vergl. Trotter & Cardew, E.T.Z. 1898, Heft 20, S. 310 ff. u. Fr. Natalis, E.T.Z. 1898, Heft 11, S. 168 ff.

Bei Anwendung einer elektrischen Schienenverbindung, wie dieselbe Fig. 87 zeigt, ist der Schienenwiderstand eines verlegten Gleises bei Anwendung von 12 *m* langen Schienen und 40,2 *kg* Schienengewicht f. d. m. folgendermassen:

Die Laschen werden zur Leitung mitbenutzt und besitzen das gleiche Gewicht wie die Schiene auf gleiche Länge.

Jeder Schienenstoss erhält vier Schienenverbinder V aus Eisen, von denen je zwei Stück hintereinander und je zwei parallel geschaltet sind. Die Schienenverbindungen sind 10 *cm* lang und haben 50 *qmm* Querschnitt.

1000 *m* dieser Schiene von 40,2 *kg/m* Gewicht besitzen einen Widerstand von

$$\frac{0{,}853}{40{,}2} = 0{,}0212\ \Omega.$$

Es werden für 1 *km* Schiene

$\frac{1000}{12} = 83{,}33$ Schienenverbindungen von $2 \times 10 = 20$ *cm* Länge und $2 \times 50 = 100$ *qmm* Querschnitt gebraucht, daher ist der Widerstand der Schienenverbinder $= \frac{0{,}11 \cdot 16{,}666}{100} = 0{,}0183\ \Omega$ für 1 *km* Schiene.

Mithin ist der Gesamtwiderstand:

einer Schiene	von 1000 *m* Länge	$= 0{,}0212 + 0{,}0183$	$= 0{,}0395\ \Omega$
eines Gleises	» » » »	. . . .	$= 0{,}01975\ \Omega$
eines Doppelgleises	» » » »	. . . .	$= 0{,}00987\ \Omega$

Bei Anwendung kupferner Schienenverbinder wird der Widerstand:

einer Schiene	von 1000 *m* Länge	$= 0{,}0212 + 0{,}003$	$= 0{,}0242\ \Omega$
eines Gleises	» » » »	. . . .	$= 0{,}0121\ \Omega$
eines Doppelgleises	» » » »	. . . .	$= 0{,}00605\ \Omega$

b) Isolierte Bettung.

Trotz bestangewandter Schienenverbinder wird jedoch in den Gleisen, entsprechend ihrem Ohm'schen Widerstande, ein Spannungsabfall auftreten, der genügt, um zwischen zwei voneinander entfernten Punkten der Schienenleitung ein genügend grosses Potentialgefälle zum Abirren von Stromteilen durch Erdschichten geringeren Widerstandes hervorzurufen. Nach Wietlisbach beträgt der Übergangswiderstand der Schiene gegen das umgebende Erdreich 15 bis 20 Ω für 1 *km*. Um nun ein Mitleiten des Erdbodens nach Möglichkeit zu verhindern, hat man nach Bettungsmaterialien gesucht, welche eine Isolierung der Fahrschienen ermöglichen.

Die für Pflasterarbeiten verwandten Materialien, Cement, Beton und Asphalt kommen hierfür zunächst in Betracht.

Über die elektrische Leitungsfähigkeit von Cement, Cementbeton und Asphaltbeton hat Prof. Dr. St. Lindeck eingehende Messungen angestellt und deren Resultate in der ETZ 1896, Heft 12, S. 180 ff., niedergelegt.

Ein Auszug aus diesen Versuchen folgt hier in Form von Durchschnittszahlen.

Die Messungen erfolgten bei 17° C. Die Messstücke waren 10 *cm* lang, 10 *cm* breit und 10 *cm* hoch, mithin

$$\text{Widerstand in Ohm für } 1\ \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}.$$

	Material	Die Blöcke waren vorher 5 Stunden lang auf 100° C. erhitzt worden	Im lufttrockenen Zustande	Im feuchten Zustande	
1.	reiner Rüdersdorfer Cement	1500	450	350	Ohm
2.	1 Teil Cement — 3 Teile Sand	500000	1400	500	Ohm
3.	1 Teil Cement — 5 Teile Kies	2500000	4000	2500	Ohm
4.	1 Teil Cement — 7 Teile Kies	3500000	5000	4000	Ohm
5.	50 % Steinklarschlag . . . . 20 % lehm- und sandfreier Grobkies . 12 % Asphaltmastix . . . . 8 % Steinkohlenteerpech . . . . . 10 % deutscher Steinkohlenteer . . . NB. Diese Mischung ist unter dem Namen Asphaltbeton bekannt geworden.	—	280000	160000 Im durchnässten Zustand 170000	Megohm

Legt man einer Überschlagsrechnung für den Übergangswiderstand eines auf Cementbeton verlegten Gleises gegen Erde den Widerstand von 5000 Ω im lufttrockenen Zustande zu Grunde, so kommt man für die Länge von 1 *km* auf Beträge, die unter 1 Ω liegen.

Mit Cement und Cementbeton ist also eine isolierende Gleisunterlage nicht zu erreichen. Dagegen stellt sich die Angelegenheit günstiger bei Verwendung von Asphaltbeton, welches für Wasser praktisch undurchlässig ist.

Es ist somit wahrscheinlich, dass unter Verwendung von Asphaltbeton das Gleis sich dauernd gegen Erde so gut isolieren lassen würde, dass Erdströme von Belang nicht mehr entstehen können. Der Asphaltbeton wäre dabei auf den Cementbeton in einer verhältnismässig dünnen Schicht aufzubringen, wodurch die Herstellungskosten erschwinglich werden könnten. Hierbei ist jedoch die eine Frage noch nicht gelöst, ob der Asphaltbeton die spezifisch hohe Druckbelastung unter den Schienen aushält. Darüber muss uns noch die Zukunft aufklären, denn bekanntlich hält bis jetzt noch kein Schienenstopfmaterial auf die Dauer fest. In Dresden hat man Asphaltbetonplatten verwendet, die sich leidlich gut bewähren und ein weiches Fahren begünstigen. Allerdings sind die Schienenprofile und die Laschenverbindungen hier äusserst kräftig gehalten, was bei derartig rentablen Strecken sehr wohl durchgeführt werden kann. Weniger gute Bahnen müssen versuchen mit billigeren Mitteln durchzukommen.

Die Asphaltbetondecke muss hinreichend haltbar sein und darf nicht etwa infolge von Witterungswechsel oder Erschütterungen Risse

bekommen. Vielleicht wäre damit ein Fortschritt in dieser Frage zu erreichen, wenn man den Schienenfuss bedeutend breiter wählt, um dadurch einen geringeren spezifischen Druck auf die isolierende Unterlagsschicht zu erreichen. Wenn es nun auf diese Art möglich wäre, an einigen Stellen eine gute Isolation der Schiene gegen das Erdreich zu erzielen, so dürfte es nicht unwahrscheinlich sein, dass Pferde, die beim Überschreiten der Gleise mit einem Fusse auf der isolierten Schiene, mit einem andern auf dem gewöhnlichen Pflaster, welches immerhin einen Potentialunterschied gegen die Schienen besitzen kann, stehen, Schaden leiden oder scheu werden. Erfahrungsmässig sind Pferde gegen elektrische Ströme ungemein empfindlich.

Ob durch die Bestimmung in dem britischen Gesetz, »dass der Spannungsabfall in den Schienen nicht mehr als 7 Volt betragen darf«, eine für Pferde ungefährliche Spannung erreicht wird, ist durch Versuche noch nicht bewiesen worden. Es stellen sich uns also auf diesem Gebiete noch recht viele ungelöste Fragen entgegen.

4. Induktionsstörungen und Erdströme.

Die Störungen, welche die Starkstromanlagen einer elektrischen Bahn auf die benachbarten Schwachstromanlagen und auf etwa in der Nähe befindliche mit elektrischen und magnetischen Messungen beschäftigte Institute ausüben, können sowohl induktorischer, als auch ableitender Art sein.

Zunächst kann für den ersteren Fall eine fernwirkende Induktionsstörung durch den Stromkreis der Bahnanlage in Betracht kommen.

Bei allen Starkstromanlagen mit direkter Stromzuführung und Fernleitung giebt der geschlossene Stromkreis Gelegenheit zur Bildung von Induktionsströmen. Bekanntlich übt jeder stromführende Leiter auf eine beweglich aufgehängte, vom Erdmagnetismus gerichtete Magnetnadel eine ablenkende Kraft aus, deren Grösse von der Intensität des Stromes, von der Ausdehnung und von der Entfernung des Leiters abhängt. Sie ist proportional der Stromstärke bezw. dem Stromstoss und indirekt proportional dem Quadrate der Entfernung des Leiters.

Sind zwei parallele Leiter vorhanden, in denen die Ströme gleich und entgegengesetzt gerichtet sind, so heben sich bekanntlich die ablenkenden Wirkungen desto vollständiger auf, je näher die Leiter aneinander liegen und je grösser ihre mittlere Entfernung von der Magnetnadel ist.

Da wir bei elektrisch betriebenen Bahnen entweder mit der unterirdischen Stromzuführung oder mit der oberirdischen Stromzuführung nach dem Einfahrdrahtsystem zu rechnen haben, so folgt aus dem vorstehenden Satze, dass bei den dicht bei einander liegenden stromführenden Leitern der unterirdischen Stromzuführung nennenswerte Störungen aus dieser Ursache nicht in Frage kommen können, und dass bei dem oberirdischen System, woselbst die Entfernung des Fahrdrahtes — als der eine Stromleiter — und der Schienen — als der andere Stromleiter — 5—6 *m* beträgt, nur in den allerseltensten Fällen in Betracht zu ziehen ist. Die Art und Grösse der Störung lässt sich mit ziemlicher Sicherheit durch Rechnung ermitteln und ergiebt fast immer Grössen, die durch die feinsten Messinstrumente kaum noch konstatiert werden dürften.

Ausser dieser Wirkung paralleler Leiter kommt bei den Strassenbahnen die durch den Wagen nahezu senkrecht geführte stromführende Verbindung der beiden Zuleitungen in Betracht. Aber auch diese Wirkung ergiebt sich rechnungsmässig als so schwach, dass man alle Störungen, welche durch die direkte Wirkung der Leiter veranlasst werden könnten, als unwesentlich bezeichnen darf.

Als ein besonders ungünstiger Fall für schädliche Induktionswirkungen ist aber die häufig notwendige Führung nur eines Stromleiters, des sogenannten Speiseleiters, anzusehen. Man ist gewöhnt, mit den Speiseleitungen den nächsten Weg bis zur Verbrauchsstelle einzuschlagen, und benutzt, um an Kupfermaterial zu sparen, nur eine Leitung, während die Schienen für die andere Leitung ausgenutzt werden. Vorausgesetzt ist natürlich hierbei, dass die Schienen bis an die Klemmen der Dynamomaschine geführt werden, d. h. dass die Wagenhalle mit der Kraftstation vereinigt ist. Es kann hier der Fall eintreten, dass z. B. eine Telegraphen- oder Telephonleitung so nahe dem Speisekabel parallel läuft, dass dessen Wirkungskreis nicht durch die ausgleichende Wirkung der Schienenleitung beeinträchtigt wird, und somit Induktionsströme in der Schwachstromleitung hervorruft.

Ebenso kann eine örtlich ungünstig liegende Magnetnadel von dem Speisekabel merkbar beeinflusst werden. Es wird indessen zumeist möglich sein, diese Beeinflussungen, sofern sie überhaupt schädlich sind, durch eine örtliche Verlegung des einen oder anderen zu umgehen.

Alle durch Induktion hervorgebrachten Störungen stehen in Wahrheit nur auf dem Papier oder in der Einbildung des Gestörten oder treten in der Praxis wesentlich hinter diejenigen Störungen zurück, welche durch die Erdströme erzeugt werden. Die Bestrebungen der Neuzeit richten sich daher nur darauf, Konstruktionen

zur Verminderung, sowie Methoden zur Abschwächung der Ursachen und Wirkungen von Erdströmen ausfindig zu machen.

Diese zweite und hauptsächlichste Ursache von Störungen ist also bedingt durch das Auftreten von Erdströmen, wenn, wie beim oberirdischen System, die Fahrschienen zur Stromleitung benutzt werden.

Es ist erfahrungsgemäss, dass das unter dem Bahnkörper liegende Erdreich an einzelnen Stellen der Bahnlinien verschiedene elektrische Spannung annimmt und dass die Ausgleichung derselben nicht allein durch die Schienen, sondern auch durch den mehr oder weniger gut leitenden Erdboden erfolgt. Es entstehen dann die sogenannten Erdströme, deren Stärke und Verlauf durch vorherige Rechnung nicht ermittelt werden können, da die bedingenden Ursachen von dem jeweiligen Zustande des Bahnkörpers und des Erdreichs, sowie von den schwankenden Witterungsverhältnissen abhängen. Die Erfahrung hat ausserdem gezeigt, dass Stärke und Verlauf dieser Erdströme, je nach den erwähnten Umständen, ausserordentlich verschieden sind, und gerade hierdurch erwächst der grösste Störungsgrad.

Gelangen diese Ströme in die Nähe empfindlicher elektrischer oder magnetischer Apparate, so können unerwünschte Störungen in diesen auftreten, und man hat das Bestreben, bei der Anlage und bei dem Betrieb der elektrischen Bahn mit Oberleitung diese Störungen zu vermeiden, beziehungsweise nach Möglichkeit abzuschwächen.

Wenn es sich z. B. darum handelt, den elektrischen Zustand der Erde zu messen und zu verfolgen, können diese Erdströme störend einwirken, ebenso wie die Telephone mit Erdleitung ungünstig beeinflusst werden.

Die Erforschung des Erdmagnetismus ist an Umfang und Wichtigkeit in dem letzten Jahrzehnt ausserordentlich gewachsen. In allen Kulturländern der Erde giebt es heute neben den Warten für Witterungskunde und für Erdbebenkunde auch solche für magnetische Beobachtungen.

Das erdmagnetische Observatorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam hat die Forderung aufgestellt, dass innerhalb eines Gebietes von 15 *km* vom Observatorium keine Starkstromanlage, welche die Erde als Rückleitung benutzt, errichtet werde, da von einer grösseren Annäherung Störungen der erdmagnetischen Messinstrumente des Observatoriums befürchtet werden.

Das zweite in Deutschland bestehende erdmagnetische Observatorium auf der Sternwarte in Bogenhausen bei München befürchtete ebenfalls erhebliche Störungen des erdmagnetischen Feldes durch die geplante Einführung des elektrischen Betriebes auf der nach

Bogenhausen führenden Strassenbahn, deren Endpunkt 217 *m* von dem Observatorium entfernt liegt. Angestellte Versuche zeigten indessen, dass bei den obwaltenden Verhältnissen eine merkbare Störung kaum eintreten werde, weshalb denn auch das Observatorium seinen erhobenen Einspruch fallen gelassen, und die zuständigen Behörden die Einführung des elektrischen Betriebes genehmigt haben, nachdem der Münchener Magistrat die Zusicherung gegeben hatte, falls Störungen dennoch auftreten sollten, entweder Mittel zu ihrer Beseitigung zur Anwendung zu bringen, oder, falls dieselben fehlschlagen, den Betrieb mit einpoliger Oberleitung durch Akkumulatorenbetrieb zu ersetzen; als maximal zulässige obere Grenze der Störungen wurde 0,1 Bogenminute festgesetzt.

Versuche an dem magnetischen Observatorium von Toronto haben gezeigt, dass die Entfernung zwischen einer elektrischen Strassenbahn und magnetischen Instrumenten zum allermindesten 3,0 *km* betragen muss, wenn die Störungen »unmerklich« werden sollen.

In der Schweiz ist ein Ausschuss eingesetzt worden, um den Plan für eine magnetische Landesaufnahme und für die Begründung eines magnetischen Observatoriums durchzuarbeiten; der Vorsitzende Wild, früher Leiter der physikalischen Hauptwarte Russlands, setzt den nötigen Abstand elektrischer Bahnen von einem magnetischen Observatorium auf wenigstens 5 *km* fest. Der Leiter des meteorologischen Institutes von Rumänien, Hepites, der ebenfalls einen magnetischen Dienst eingerichtet hat und diesen durch die Anlage einer elektrischen Bahn bedroht sieht, hat zahlreiche Beobachtungen in der Umgebung von Bukarest in Abständen von 6—10 *km* von der Linie gemacht. Er kam zu dem Ergebnis, dass die Bestimmung absoluter magnetischer Werte in einer Entfernung von 6 *km* noch gute Resultate ergiebt, jedoch kann in diesem Abstande die Thätigkeit dauernd arbeitender und selbstregistrierender magnetischer Apparate bereits nachteilig beeinflusst werden. Professor Rücker aus Amerika führte in einem Vortrage in der Londoner Royal Institution aus, dass in Amerika zuerst die Störung der magnetischen Forschung durch die elektrische Bahn sich bemerkbar gemacht hätte, wo besonders eine rohe Bauart der Bahn ihre nachteilige Wirkung ausgeübt hätte. Seitdem hat sich der Bahnbau in Amerika und in England zweifellos sehr verbessert, aber doch nicht derart, dass das Übel als gehoben zu betrachten wäre. Überhaupt kann selbst die sorgfältigste Konstruktion ohne besondere Vorsichtsmassregeln keine vollständige Abhilfe bringen.

Für die Grenzwerte der Störungsbereiche werden sich allgemein gültige Normen wohl niemals aufstellen lassen; es müssen

hierfür von Fall zu Fall die Verhältnisse massgebend bleiben. Vorhandene Institute, welche bereits jahrelange Beobachtungen an ein und derselben Stelle gemacht haben, dürfen jede diesbezügliche Rücksicht verlangen, da sonst ein reicher Schatz von Erfahrungen, die für das Allgemeinwohl gelten, wieder verloren gehen würde. Neue Institute sollte man jedoch so anlegen, dass sie auf Jahrzehnte hinaus eine elektrische Bahn in ihrem Störungsfelde nicht berühren können. Es hiesse, das Zeitalter des Verkehrs und der Technik verkennen, wollte sich die Wissenschaft an die Spitze der berechtigten Interessen stellen.

Den Vorschlag, die Bahn so zu situieren, dass Störungen auf ein praktisch zulässiges Mass herabgemindert werden, muss man in das Bereich der Theorie verweisen, da es in der Praxis darauf ankommt, eine durch Verkehr und Bedürfnis bestimmte Trace für die Bahn zu verfolgen. Wohl kann man aber bei Anlage der Kraftstation beachten, dass die zu schützende Stelle stets ausserhalb des

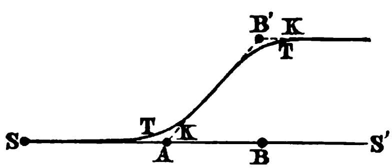


Fig. 88.

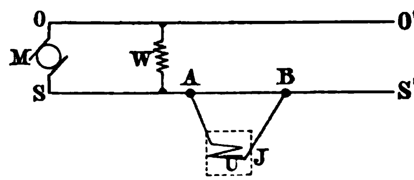


Fig. 89.

Strahlenbüschels liegt, welches von dem an die Erde angeschlossenen Pol des Bahnstromerzeugers mit dem einzelnen Punkte des stromführenden Gleises gebildet wird.

Die Einrichtungen, physikalische Institute gegen die Einwirkung elektrischer Erdströme zu schützen, beruhen auf dem Grundgedanken, dass Drähte, in denen entweder ein Teil des Erdstromes oder ein mit dem Erdstrom zugleich auftretender Zweigstrom kreist, so über oder um die zu schützenden Instrumente bezw. Räume, in denen die Instrumente stehen, geführt werden, dass die unmittelbare Wirkung des Erdstromes aufgehoben wird. Die Ausführung kann entweder derart sein, dass die Ausgleichdrähte in Erdplatten endigen, die in der Nähe des zu schützenden Hauses eingegraben sind und einen Teil der Erdströme aufnehmen, oder es werden einzelne Schleifen von Ausgleichdrähten gebildet, welche mit ihren Enden die Fahrschienen an verschiedenen Stellen berühren. Die letztgenannte Art ist besonders von Dr. O. Frölich ausgebildet worden, nachdem auch Gisbert Kapp auf diese Methode aufmerksam gemacht hatte.

Das Frölich'sche Verfahren besteht darin, dass man zunächst den Verlauf des Störungsstromes ermittelt, welcher durch die Kurve TT in Fig. 88 als Funktion der Stellung des Wagens dargestellt ist. Wenn man jetzt eine Drahtwindung um das zu schützende Gebäude U (Fig. 89) legt und die Enden dieser Leitung in den Punkten A und B mit dem Gleise verbindet, so tritt bei Bewegung des Wagens W in der Ausgleichleitung AUB (Fig. 89) ein Strom auf, welcher durch die gebrochene Linie KK (Fig. 88) gekennzeichnet ist. Wenn sich nämlich der Wagen W zwischen dem Pol der Dynamo S und dem Punkte A befindet, so ist die Ausgleichschleife stromlos. Wenn der Wagen von A nach B vorrückt, so steigt die Stromkurve geradlinig an und bleibt konstant für jede jenseits von B gelegene Stellung des Wagens. Vergleicht man den Verlauf des Störungsstromes TT mit dem des ihm entgegenwirkenden Ausgleichstromes KK (Fig. 88), so erkennt man, dass schon ein annähernder Ausgleich erzielt ist, der durch Anwendung mehrerer Aus-

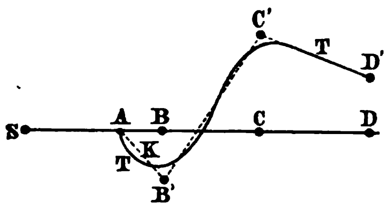


Fig. 90.

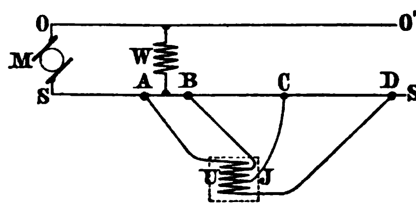


Fig. 91.

gleichschleifen noch verbessert werden kann. Beispielsweise wird in Fig. 90 die Störungskurve TT durch die gebrochene Linie AB'C'D' ersetzt; daraus ergeben sich die Punkte ABCD (Fig. 91), in welchen die Ausgleichdrähte an die Schienen anzuschliessen sind. Die Justierung gestaltet sich alsdann folgendermassen: Man schaltet zunächst die Schleife AB ein und justiert sie so, dass bei einer Wagenstellung zwischen A und B der Ausgleichstrom die Wirkung ausübt, welche durch die betreffende Stelle der Geraden AB' vorgezeichnet ist; dann zeigt der Ausgleichstrom bis zur Wagenstellung B den geradlinigen Verlauf AB', würde aber von da an, wenn keine weiteren Schleifen hinzugefügt werden, den durch B' bezeichneten Wert beibehalten. Nun verschiebt man den Wagen zwischen B und C, schaltet die Schleife BUC ein, ohne die Schleife AUB auszuschalten, und justiert die erstere so, dass die Wirkung gleich der Störung ist oder, wenn in diesem Punkte Störungs- und Ausgleichkurve nicht zusammenfallen, den durch die Gerade B'C' vorgezeichneten Wert besitzt. Auf diese Weise wird fortgefahren, bis hinreichende Übereinstimmung zwischen dem Verlauf des Störungs- und Ausgleichstromes erzielt ist.

Diesem äusserst geistreichen Verfahren haftet der Übelstand gewisser Umständlichkeit an. Die Sicherheit des erzielten Ausgleiches bleibt ferner im Laufe der Zeit einem Wechsel unterworfen.

Einer praktischen Anwendung hat sich die beschriebene Anordnung im Betriebe noch nicht zu erfreuen gehabt, was zum Teil wohl darin seinen Grund hat, dass man es vorgezogen hat, entweder mit Akkumulatoren an den gefährdeten Instituten vorbeizufahren oder zweipolige Systeme in deren Nähe anzuwenden.

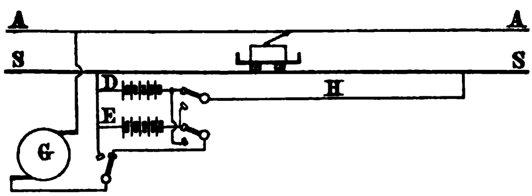


Fig. 92.

Man hat weiterhin den Vorschlag gemacht, die Schienen gegen das Erdreich zu isolieren, um Nebenströme im Erdreich zu verhindern. Selbst wenn uns die Technik heute schon Mittel in die Hand gäbe, mit wirtschaftlichem Erfolge diese Isolierung durchzuführen, so würde die an einigen Stellen des Schienenweges gegen Erde auftretende Potentialdifferenz von einigen Volt bereits genügen, ein über die Schienen gehendes Pferd tötlich zu gefährden. Gisbert Kapp hat daher ein Verfahren angegeben, durch welches ohne Isolierung des Schienenweges eine erhebliche Potentialdifferenz in der fortlaufenden Schiene, sowie in dem umgebenden Erdreich vermieden wird. Aus der diesbezüglichen Patentbeschreibung (D. R. P. 88275) ist das Folgende zu entnehmen:

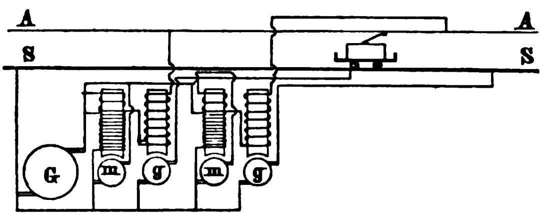


Fig. 93.

In von der Kraftstation G ausgehende und an entfernte Punkte der Schiene S angeschlossene Hilfsleitungen H werden besondere Stromerzeuger derart eingeschaltet, dass ein erheblicher Teil des Rückstromes durch die Hilfsleitungen geführt wird und die Schienen soweit von Strom entlastet werden, dass die Potentialdifferenz zwischen näheren und entfernteren Punkten der Schienen wesentlich vermindert wird. So sind in Fig. 92 die Sammelbatterien D und E zu dem genannten Zwecke eingeschaltet. Wenn E durch den vollen Rückstrom geladen wird, so wird D in die Hilfsleitung entladen und umgekehrt (nach erfolgter Umschaltung). Verwendet man Dynamomaschinen als besondere Stromerzeuger, so kann man bewirken,

dass ihre elektromotorischen Kräfte innerhalb gewisser Grenzen von der Strombelastung der Schienen selbstthätig abhängig werden, indem man die Stromerzeuger g durch den Verbrauchsstrom erregt (Fig. 93). Die Stromerzeuger g sind als durch Elektromotoren m angetrieben dargestellt, A bedeutet die Fahrleitung der Bahnstrecke.

In die Praxis übersetzt, bedeutet dieses Verfahren die Anlegung nur schwacher Rückleitungskabel, welche an ihren Anschlussstellen das Schienenpotential um so viel erhöhen, als es bis zu der betreffenden Stelle, von der Kraftstation aus, gefallen ist. Beim Bau der Genfer elektrischen Strassenbahn ist auf die Kapp'sche Anordnung durch Verlegung der betreffenden Zusatzkabel Rücksicht genommen worden. Man beabsichtigte die Zusatzdynamos aufzustellen, wenn sich bei wachsendem Verkehr Störungen zeigen sollten.

In Städten, deren diametral gelegene Vororte durch die Stadt mittels elektrischer Bahnen mit Schienenleitung verbunden sind, und deren Krafterzeugung, wie üblich, von einem der angeschlossenen Vororte aus erfolgt, können die Potentiale der Erdströme am äussersten Bahnende eine Höhe erreichen, welche auf den ganzen städti-

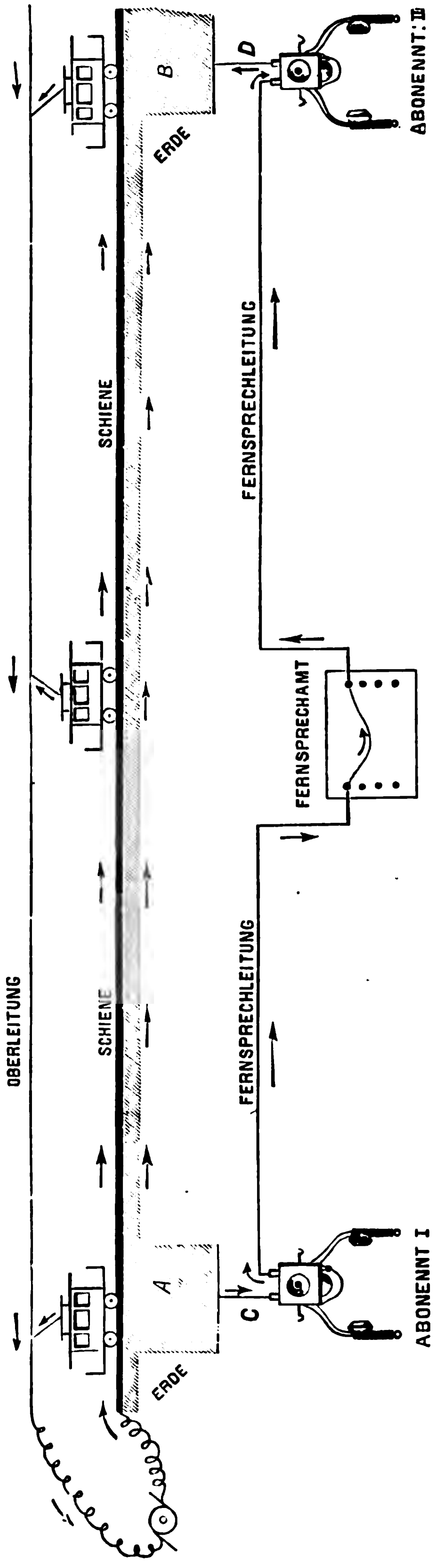


Fig. 94.

schen Telephonbetrieb störend einwirken können, indem die durch Erdplatten im Erdstrombereich angeschlossenen Telephone einen Nebenschluss des Betriebsstromes erhalten, welcher dem Potentialgefälle der Erdströme entspricht.

Ein Gleiches gilt von Gegenden, in denen Bergbau getrieben wird. Die Orientierung des Bergmannes erfolgt bekanntlich durch Magnetnadelapparate, ähnlich dem Kompass auf dem Schiffe. Es ist bereits konstatiert worden, dass z. B. im westfälischen Bergwerksreviere Abweichungen der Magnetnadel stattgefunden haben.

AB stellt in der Fig. 94 die Schienen einer elektrischen Bahn dar. Bei A befindet sich die Kraftstation.

Fliesst in den Schienen ein schwankender Strom, so werden in den benachbarten Erdteilchen Spannungsschwankungen auftreten; d. h. die zwischen A und B herrschende Spannungsdifferenz schwankt ebenfalls, was wiederum Stromvariationen in der Fernsprechleitung CD, welche die Abonnenten I und II vermittelst des Fernsprechamtes verbinden, zur Folge hat.

Die Fernsprechanlage zwischen C und D besitzt einen grossen Widerstand, und es wird bei herrschender Spannungsdifferenz zwischen A und B durch die Fernsprechanlage ein entsprechender kleiner Strom fliessen. Dieser Strom wird Verstärkungen und Schwächungen erleiden, welche als störende Geräusche in den Hörrohren der Abonnenten I und II hörbar werden. Hierbei ist zu bemerken, dass die Betriebsstromstärke im Fernsprecher nur 13 Milli-Amp. ist, woraus ersichtlich, wie empfindlich der Apparat ist.

Die bei den Reichspost-Telephonanlagen in Betracht kommenden äusseren Stromkreiswiderstände[1]) sind die folgenden:

1. Bronzedraht von 3 *mm* Durchmesser = 3 Ω/km,
   » » 2,5 » » = 5 »
   » » 2,0 » » = 7 »
   „ » 1,5 „ » = 18 »
2. Apparatwecker 80—100 Ω;
3. Fernhörer 210 Ω (2900 Windungen von 0,13 *mm* Draht);
4. Primärspule 5—6 Ω;
5. Widerstand des Apparates beim Hören $\frac{210 \cdot 210}{210+210} + 6 = 111\ \Omega$.

Fig. 95 zeigt die Vertikalprojektion einer möglichen Bahn- und Telephonanlage, aus der ersichtlich ist, dass die Lage der Telephon-

[1]) Das Mikrophon hat im Mittel 4,5 Ω, davon besitzt die Primärspule bei 250 Windungen von 0,5 *mm* Draht = 1 Ω, ein Kohlenelement 3,5 Ω bei einer Spannung von 1,46 Volt.

leitungen zu den Leitungen der Bahn keine Rolle spielt, sondern dass nur allein die Lage der Telephonerdplatten in Betracht zu ziehen ist. Eine radikale Abhilfe zur Beseitigung der Telephonstörungen ist nur dann zu erwarten, wenn bei der Fernsprechung auf die Erdleitung verzichtet wird und besondere Schleifenleitungen eingerichtet werden, wie dies heute von der Reichspostverwaltung angestrebt wird.

Der Sitz der Strompulsationen ist im Stromwender der Wagenmotoren zu suchen. Böhm ist der Meinung, dass die Unreinheiten

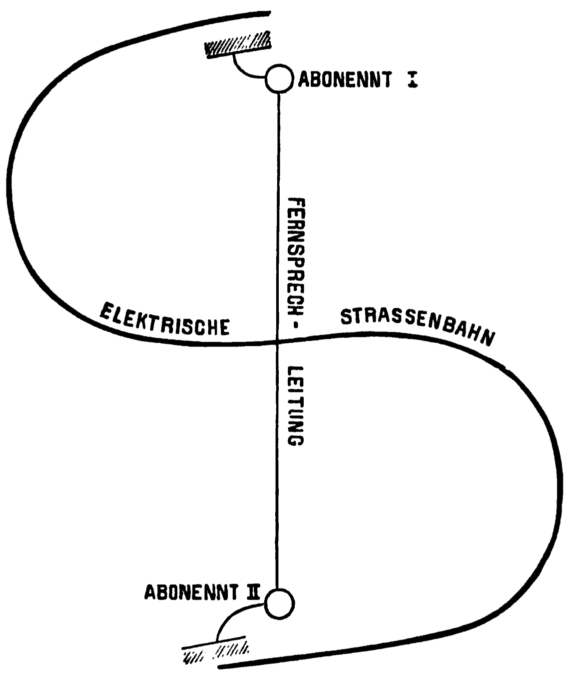


Fig. 95.

und Unebenheiten, welche stets bei den Schienen der Strassenbahnen vorhanden sind, und über welche der Wagen hinwegrollt, indem er von den Schienen abgehoben wird, kleine, rasch aufeinander folgende Stromunterbrechungen oder Widerstandseinschaltungen bedingt. Er vergleicht diese Vorgänge mit denen im Mikrophon (durch Versuche Behn-Eschenburg, S. 144, widerlegt). West hat durch seine in der ETZ 1896, Heft 18, S. 263, niedergelegten Versuche bei der Charlottenburger Strassenbahn gezeigt, dass die Vibration der Schienen und der Schienenbettung periodische Änderungen des Widerstandes zwischen Rädern und Schienen bedingen. Ob aber diese mit Schwachstrom ausgeführten Versuche auch in demselben Masse Geltung be-

halten, wenn der Bahnbetriebsstrom die Kontaktflächen durchfliesst, bleibt dahingestellt.

Behn-Eschenburg berichtet über Versuche, die er an der Zürichbergbahn gemacht hat, folgendes:

Als Stromquelle wurde nur die Akkumulatorenbatterie der Centrale benutzt, auf der Strecke befand sich nur der für die Versuche bestimmte Wagen. Die Telephonbeobachtungen wurden mit dem Telephon der Centrale ausgeführt.

Bei dem ersten Versuch wurde der elektrische Strassenbahnwagen in der Mitte der Strecke mittels vier Winden aus den Schienen gehoben, die Motoren wurden im ruhenden Wagen in Gang gesetzt und belastet durch Anziehen der mechanischen Wagenbremse. Der Strom wurde zugeführt durch die ruhende Kontaktrolle und eine provisorische Verbindung mit den Schienen. Dabei traten im Telephon genau die gleichen Töne und Tonschwankungen auf, wie sie von den in der Gegend fahrenden Strassenbahnwagen erzeugt wurden.

Beim zweiten Versuch wurde der Wagen wieder auf die Schienen gelassen und im Innern desselben ein Belastungswiderstand angebracht, der ungefähr den maximalen Anlaufsstrom eines Wagens aufnahm. Der Wagen wurde nun durch sein Eigengewicht den Berg hinuntergetrieben bei ausgeschalteten Motoren, indem seine Geschwindigkeit mittels der mechanischen Bremse reguliert wurde. Der Strom wurde durch Schienen, Räder, Fahrdraht und Kontaktrolle in den Belastungswiderstand geleitet. Im Telephon war keine Spur von den Tönen bemerkbar, die durch den Motorenbetrieb hervorgerufen werden, und es konnte kein Unterschied festgestellt werden, ob der Wagen ruhte oder lief (abgesehen von zufälligen Kurzschlüssen in dem Widerstand infolge der Erschütterung).

Diese Versuche zeigen, dass in diesem Fall die in dem Telephon durch den Bahnbetrieb erzeugten Töne weder von der Zuleitung durch die Schienen und Räder, noch von der Zuleitung durch den Fahrdraht und die Kontaktrolle, noch durch den Kommutator des Stromerzeugers beeinflusst werden, wobei zugleich die irrige Anschauung von Riche Preller, der Bügelkontakt wirke zur Vermeidung der Strompulsationen günstiger, als der Rollenkontakt, gründlich widerlegt wurde. Ebenso ist die Böhm'sche Ansicht durch diese Resultate hinfällig (vergl. Seite 143).

Bei einem weiteren Versuch wurde die Rückleitung des Telephons der Centrale ersetzt durch eine Verbindung mit der Luftleitung eines benachbarten Telephons und die Erdleitung beider Telephone abgeschaltet. Es konnten nur noch äusserst schwache Töne im Zusammenhang mit dem Bahnbetrieb wahrgenommen werden. Es scheint

also bei den betreffenden Telephonleitungen die direkte Induktion einen verschwindend kleinen Einfluss zu haben.

Sehr wesentlich ist bei diesen Erscheinungen die Empfindlichkeit der Telephonmembran für eine bestimmte Schwingungszahl oder Tonhöhe. Selbstverständlich kann durch keine Konstruktion der Motoren der Charakter der undulierenden Stromstärke beseitigt werden. Massgebend vor allem scheint die Ausdehnung des Telephonnetzes und die Leitfähigkeit der Erde. (Für die Untersuchungen eignet sich vorzüglich ein kleiner Wechselstromtransformator, welcher in ein paar Windungen den Hauptstrom führt, während ein Telephon an die sekundären Windungen angeschlossen wird.

Auf Grund der vorstehenden einwandsfreien Beobachtungen neigt man, wie bereits erwähnt, der Ansicht zu, dass die Stromschwankungen nicht durch die veränderlichen inneren Motor- und Vorschaltwiderstände erfolgen, auch nicht durch die veränderliche innere und äussere Wagenreibung, oder durch variable rollende Reibung, sondern lediglich durch den Motor selbst verursacht werden, und zwar erstens durch Vibration der Kohlenbürsten, welche ebenso wie beim Kohlenmikrophon wirkt, und zweitens durch den in der Sekunde sich, entsprechend der Motorumdrehungszahl und der Kommutatorteilung, wiederholenden Kurzschluss der einzelnen Ankerspulen. Bei einem Motor mit normal 450 Umdrehungen in der Minute und 60 Kommutatorteilen wird demnach ein Ton hörbar sein, der dem Kammerton an Schwingungszahl annähernd gleich kommt. In der Praxis ist diese Übereinstimmung thatsächlich vorhanden.

Je weniger Kollektorsegmente der Stromwender hat und je langsamer der Motor läuft, desto tiefer wird der Ton sein. Wenn man es erreichen kann, die Schwingungszahl derartig zu verringern, dass das menschliche Ohr den Ton nicht mehr wahrnimmt oder denselben nicht mehr störend empfindet, so wäre für den Fernsprechverkehr das Übel gehoben. Bei Wechselstrombahnen (Drehstrom mit geringer Schwingungszahl) ist demnach am ehesten eine Hoffnung zur Besserung vorhanden, da hier der Kommutator gänzlich in Wegfall kommt. Wie weit nach Ansicht von Wietlisbach Motoren mit besonders starkem Magnetfelde und verhältnismässig wenig Ankerrückwirkung den Telephonverkehr am wenigsten stören werden, muss durch die Praxis erst noch bewiesen werden. (Vergl. ETZ 1896, Heft 17, Seite 252.)

Gelegentlich des internationalen Elektrikerkongresses in Genf 1896 wurden folgende Sätze aufgestellt, um die bis dahin gemachten Erfahrungen für den Schutz gegen Erdströme zur Nachachtung und Vervollständigung bekannt zu geben, ohne dadurch Bestimmungen festzulegen, welche durch spätere Verbesserungen überflüssig werden könnten:

1. Die Telephonnetze können ausreichend gegen Starkströme geschützt werden, indem man auf die Erde als Rückleitung verzichtet und die Schleifenschaltung anwendet.

2. Da die Starkströme viele Millionen mal grösser sind als die Telephonströme, müssen die Starkstromleitungen so verlegt und isoliert sein, dass sowohl Stromübergang in die Erde als auch die Effekte der Induktion auf einen genügend kleinen Betrag herabgedrückt werden.

3. Wo bei Gleichstromanlagen ein Teil des Starkstromkreises an Erde liegt, wie bei den elektrischen Strassenbahnen, müssen, soweit als möglich, besondere Hilfsmittel benutzt werden, um die Beeinflussung der Telephonleitungen zu vermindern. Solche Mittel sind:

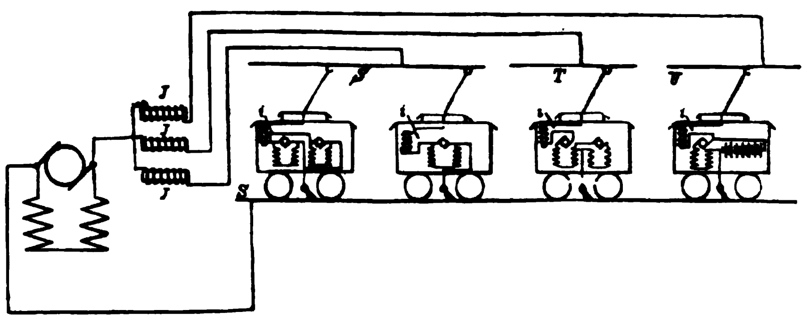


Fig. 96.

a) Gute Isolation der Fahrleitung und der damit elektrisch verbundenen Teile der Installation.

b) Isolierte Rückleitungskabel von den am meisten belasteten Schienenpunkten aus, eventuell mit Zusatzdynamos verbunden.

c) Gute Schienenverbindungen, Transversalverbindungen, besondere Rückleitung.

d) Berücksichtigung bezw. Vermeidung derjenigen Faktoren bei der Konstruktion des Motors, welche das Undulieren des Stromes begünstigen können.

Siemens & Halske, A.-G., Berlin, hat sich unter D. R.-P. 101 108 eine Vorrichtung schützen lassen, durch welche die geschilderten Telephonstörungen gemildert werden sollen. Sogenannte Drosselspulen bieten bekanntlich den Wechselströmen und den abgebrochenen Strömen infolge der Selbstinduktion einen höheren Widerstand, als allmählich veränderlichen oder gleichbleibenden Strömen. Der Betriebsstrom ist ein Strom von letzterer Art, während der Störungsstrom ein schnell schwankender ist.

Die in die Fahrdrahtspeiseleitungen eingeschalteten Drosselspulen I (Fig. 96) lassen daher den Betriebsstrom ohne grossen Verlust durch, vermindern indessen die Störungsströme.

Auf den grossen Aussenstrecken bei Budapest ist diese Vorrichtung mit gutem Erfolge angewandt worden.

Wenn in die Motorwagen noch weitere Drosselspulen i eingeschaltet werden, so wirkt die Dämpfung noch günstiger, auch kann in die Schienenleitung eine solche Spule gelegt werden. Eine der Drosselspule ähnliche Wirkung könnte erzielt werden, wenn man den Bahnstromkreis an bestimmten Stellen durch einen Kondensator kurzschliesst. Der Fahrdraht und die Fahrschiene werden alsdann an die beiden Belege des Kondensators gelegt. Der Gleichstrom kann die Isolationsschicht nicht überspringen, während der wechselnde Strom seinen Ausgleich über den Kondensator findet, und somit nicht weiter geleitet wird. Angestellte Versuche haben diese Idee nicht erfolgreich bestätigt. Zudem kommt, dass es sehr schwer ist, geeignete Kondensatoren hierfür zu konstruieren.

5. Elektrolytische Einflüsse im Erdreich.

Neben den Störungen auf magnetische Apparate durch Erdströme haben die zerstörenden Wirkungen elektrischer Ströme auf unterirdische Metallröhren die Aufmerksamkeit der Fachkreise auf sich gezogen und zwar sind bezügliche Vorkommnisse besonders in Amerika wahrgenommen worden.

Bereits im Sommer 1891 brachte man in Erfahrung, dass einige mit Blei umhüllte, aus hölzernen Kanälen in Boston herausgenommene Telephonkabel an einzelnen Stellen sehr starke Korrosionen zeigten. Man schrieb diese Einwirkungen allgemein der in den hölzernen Kanälen sich bildenden Essigsäure zu, welche kurze Zeit vorher an einigen Kabeln in anderen Stadtteilen ähnliche Beschädigungen hervorgerufen hatte. In dem erwähnten Falle war jedoch die Korrosion so stark und nur auf einzelne Stellen beschränkt, dass man zu der Annahme gedrängt wurde, die Ursache in einer elektrolytischen Wirkung elektrischer Ströme zu suchen, welche von der Erdverbindung der in der Nähe vorübergehenden elektrischen Bahn herbeigeführt werden konnte. Andere ähnliche Vorkommnisse wiesen auf dieselbe Ursache hin. Angestellte Versuche, wobei man auf künstlichem Wege ein Bleikabel derartigen Einflüssen aussetzte, bewiesen in der That, dass durch elektrolytische Wirkungen das Blei in ganz ähnlicher Weise wie in den bemerkten Fällen angegriffen wurde, sodass man daraus schliessen konnte, dass auch das Metall von Gas- und Wasserleitungsröhren solchen Einflüssen unterliegen müsse.

Nach dem »Electrician« war in Brooklyn eine offizielle Kommission mit der Untersuchung der an den Rohrleitungen durch die elektrischen Strassenbahnen verursachten Korrosionen betraut. Die Untersuchung hat ergeben, dass die schmiedeeisernen und Bleirohre rasch korrodieren, und dass dagegen die gusseisernen Rohre nicht viel zu leiden scheinen. Dieses Gutachten ist auf Grund zahlreicher Beobachtungen durch Ausgrabungen in den Strassen erstattet worden, wobei auch bemerkt wurde, dass die Schäden nicht auf unmittelbare Nähe der Geleise beschränkt sind.

Prof. J. A. Flemming behandelte in einem Vortrage die elektrolytische Zersetzung von Wasser- und Gasröhren durch die Erdströme der elektrischen Strassenbahnen. Er wies auf die Vorschrift des Board of Trade hin, nach welcher der Spannungsunterschied in der Erdrückleitung 7 Volt nicht übersteigen darf, während das Potentialgefälle von Schiene zu Rohr nicht mehr als 4,5 Volt und jenes von Rohr zu Schiene nicht mehr als 1,5 Volt betragen darf. Ihre Begründung findet die letztere Bestimmung darin, dass die elektrolytische Zersetzung der Röhren wesentlich gefährlicher ist, als die der Schienen. Der Vortragende erläuterte eine Reihe von Versuchen, welche er angestellt hatte, um festzustellen, ob die Spannung von 1,5 Volt genüge, um Beschädigungen der Rohrleitungen durch elektrolytische Einwirkung hervorzurufen; er hat gefunden, dass das Ergebnis wesentlich von der Leitungsfähigkeit des Erdbodens in der Nähe des Gleises abhängt. Messungen, welche an Lehmboden von einer Ausgrabung in den Strassen Londons angestellt wurden, haben einen Widerstand von ungefähr 1500 Ohm pro Kubikcentimeter ergeben; natürlich nahm der Widerstand erheblich zu, je weniger Feuchtigkeit in der Erde enthalten war. Die gewöhnliche Humusschicht bildet einen guten Leiter, so lange sie feucht ist.

Auf Grundlage seiner Untersuchungen kam er zu dem Resultat, dass die gewöhnliche Humusschicht, welche Lehm, feuchten Sand und Cement enthält, einen spezifischen Widerstand zwischen 15 und 30 Ohm für 1 *cbm* besitzt. Legt man diese Zahlen zu Grunde, so zeigt ein praktisches Beispiel, dass beträchtliche Stromstärken selbst mit einer so niedrigen Spannung wie 1,5 Volt erzielt werden. In dieser Beziehung sind einige Versuche in der Nähe von Bristol ausgeführt worden. Drei neue gusseiserne Wasserrohre von 5 Zoll Durchmesser wurden ungefähr 1 *m* auseinander 0,6 *m* tief in der Erde verlegt; die Länge jedes Rohres war 10 *m*. Zwischen zwei von diesen Rohren wurde ein Spannungsunterschied von 1 Volt dauernd unterhalten, sodass ein Strom von 0,1 bis 0,2 Amp. sechs Monate lang floss. Nach dieser Zeit war dasjenige Rohr, welches mit dem positiven Pol verbunden war, mit einer Lage von Eisen-

hydroxyd von merklicher Dicke gleichmässig bedeckt. Der Verfasser fasst die Ergebnisse seiner Versuche dahin zusammen, dass, selbst wenn die Vorschriften des Board of Trade innegehalten werden, doch die Gefahr elektrolytischer Zersetzung vorhanden ist.

Um weitere Versuchsresultate zu besitzen, die, obgleich theoretisch gewonnen, doch einigen Anhalt zur praktischen Beurteilung dienen konnten, füllte man ein Fass mit Strassenerde, nachdem man eine Metallplatte auf den Boden des Fasses gelegt hatte (Fig. 97). Auf die Erde legte man zwei kurze Stücke Bleikabel nebeneinander. Die untere Platte wurde dann mit dem negativen Pole einer Akkumulatorenbatterie verbunden, welche 4 Volt Spannung ergab; eines der oberhalb liegenden Kabelstücke wurde mit dem positiven Pole der Batterie verbunden, während das zweite oberhalb liegende Kabelstück ausser elektrischer Verbindung blieb. Hierauf sättigte man die Erde mit Wasser und der Stromkreis wurde geschlossen. In dieser Weise liess man den Strom sieben Tage lang wirken. Nach Verlauf dieser Zeit zeigte sich, dass das mit der Batterie verbunden gewesene Kabelstück in seiner Bleiumhüllung in ganz ähnlicher Weise stark zerfressen worden war, wie die vorerwähnten Kabel, wogegen das andere, nicht in elektrischer Verbindung gewesene Kabelstück sich als ganz unversehrt erwies.

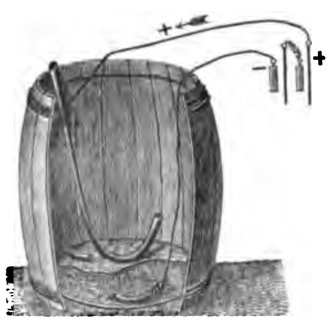


Fig. 97.

Es wurden nunmehr Spannungs- und Strommessungen in allen Kabelgruben der betreffenden Stadt (Boston) vorgenommen, wobei es sich herausstellte, dass in einem Radius von etwa 600 *m* von der einen elektrischen Bahnstation alle Kabel sich zur Erde negativ verhielten, und zwar zwischen den Grenzen von 2 Volt bis Null; ausserhalb der neutralen Linie verhielten sich alsdann die Kabel von Null bis 12 Volt positiv zur Erde. Weiter hinaus, bis in die Nähe einer zweiten elektrischen Bahnstation, fand sich in gleicher Beziehung eine neutrale Linie, worauf bis an die Station die Kabel sich wieder negativ verhielten. Dieselben Verhältnisse wurden auch betreffs anderer elektrischer Bahnstationen gefunden. Um genügende thatsächliche Unterlagen zu erhalten, wurden Karten gezeichnet, auf denen für alle Stadtteile das Spannungsverhältnis der Kabel zur Erde, sowie zum Teil die Stromrichtungen und die Stromspannungen in den Kabelleitungen angegeben sind. Diese Potentialmessungen, welche allerdings zu anderen Zwecken vorgenommen wurden, lieferten nebenbei den Beweis, dass die elektrischen

Bahnen durch ihre Erdströme als die Quelle jener störenden Vorkommnisse anzusehen sind.

Fig. 98 dient zur Illustration dieser Wirkungsweise; dieselbe zeigt den Übergang des Stromes von der Dynamo nach den Schienen und den teilweisen Übergang des Stromes von der Schiene nach dem darunter liegenden Bleikabel innerhalb der neutralen oder Nulllinie und von dem Kabel zu den Schienen ausserhalb dieser Nulllinie. Die Gefahr elektrolytischer Wirkungen findet nur da statt, wo der Strom vom Kabel oder vom Rohr durch feuchte Erde hindurchgeht.

Gegen diese erwähnten Übelstände sind nun einige Hilfsmittel in Vorschlag gebracht worden und auch teilweise zur Anwendung gelangt. Es wurden zu dem Zweck mehrere Konferenzen abgehalten,

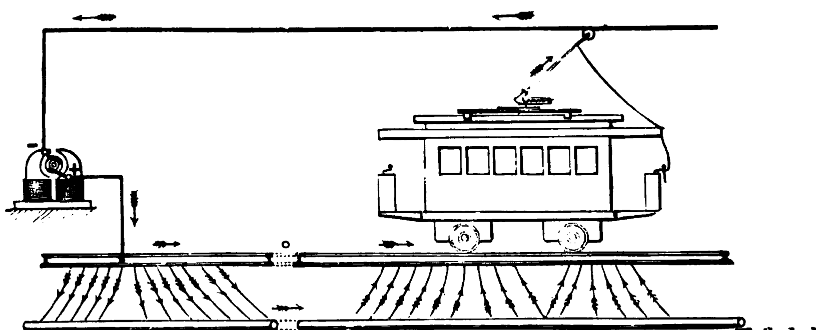


Fig. 98.

an denen sich die Eisenbahn- und Telephongesellschaften beteiligten, wobei die Gesellschaft der elektrischen Bahn zu Boston sich geneigt zeigte, das Übel an der Wurzel zu fassen, aber bei ihren Linien auf die Benutzung von Schiene und Erde als Teil des Stromkreises nicht verzichten konnte.

Es wurden ausserdem folgende Vorschläge gemacht:

1. Es sollen alle Kabel aus dem feuchten Boden und den feuchten Seiten der sogenannten Mannlöcher herausgenommen werden. Hierbei entstand aber die grosse Schwierigkeit, die Kabel überhaupt vor Erdfeuchtigkeit zu schützen.

2. Man solle die Kabel in den Mannlöchern mit Erdplatten verbinden, um dadurch die elektrolytische Wirkung auf diese Platten zu übertragen, und somit die Kabel zu schützen. Dieses Mittel wurde in ausgedehnter Weise versucht; aber obgleich viele Grundplatten von bedeutender Oberfläche durch einen grossen Teil der Stadt mit den Kabeln verbunden wurden, so ergaben doch die Spannungsmessungen zwischen den Kabeln und einer Erdstelle in

geringer Entfernung von der Erdplatte in vielen Mannlöchern nahezu dieselbe Potentialdifferenz wie vor der Anbringung der Grundplatten. In manchen Fällen war allerdings die Potentialdifferenz um etwa 25 % vermindert worden; in vielen anderen Fällen zeigte sich aber keine bemerkenswerte Verminderung des Spannungsverlustes.

3. Wurde von Prof. Elihu Thomson unter anderen möglichen Hilfsmitteln vorgeschlagen, an verschiedenen Stellen längs der Eisenbahnstrecken Motorgeneratoren aufzustellen, wie dies durch Fig. 99 dargestellt ist, welche durch den Kraftstrom der Eisenbahn in Betrieb zu setzen wären; der von diesen Motoren gelieferte Sekundärstrom sollte dann mit Bezug auf die umgebende Erde oder die in der Nähe befindlichen Eisenbahnschienen zur Herabminderung des Potentiales in den Kabeln oder Röhren benutzt werden. Zugleich

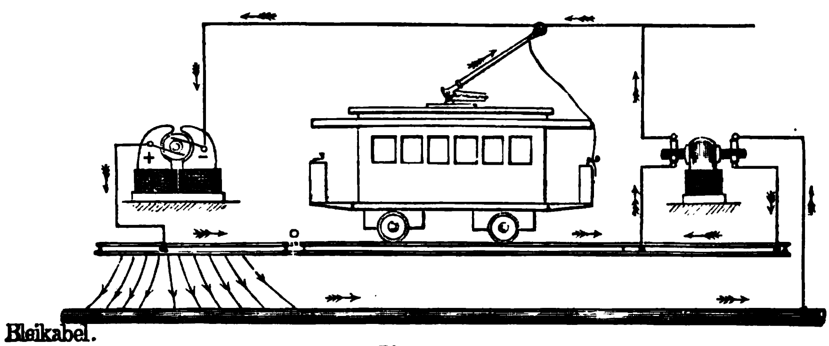


Fig. 99.

sollten dabei Einrichtungen zum selbstthätigen Anlassen und Anhalten der Generatoren, je nachdem die Kabel sich positiv oder negativ zu den Eisenbahnschienen verhielten, in Anwendung kommen. Diese Motorgeneratoren sollten sozusagen den Strom aus den Kabeln pumpen und in die Schienen pressen, sobald das Potential in den Kabeln in dem einen oder anderen Sinne über den Nullpunkt hinausstiege. Dieser Vorschlag hat noch keine Ausführung gefunden, weil die Sache jedenfalls zu kostspielig ist und eine Rohrleitung von unendlich kleinem Widerstand voraussetzt. Diese Bedingung kann jedoch nie erfüllt sein, da die eine oder andere Rohrverbindung schlecht leitet. Auch entsprechen die Bleimäntel der Kabelleitungen und die Verbindungen der Kabel diesen Bedürfnissen nicht.

4. Es wurde vorgeschlagen, die Kabel und Röhren von der Erde zu isolieren. Da aber bei einigen Vorkommnissen starker Korrosion die betroffenen Kabel mit Asphalt angestrichen, mit Gewebestoff umwickelt und wieder asphaltiert, und schliesslich stark umsponnen und mit Asphalt getränkt worden waren, war dadurch

der Beweis geliefert, dass eine für den Zweck genügende Isolation praktisch kaum erreichbar und zu kostspielig ist, um ausgedehnte Anwendung finden zu können. Der Schutz von Wasser- und Gasröhren durch genügende Isolation kann aber vom praktischen Standpunkte aus überhaupt nicht in Frage kommen.

5. Es wurde der Vorschlag gemacht, die metallische Kontinuität der Kabelumhüllungen und der Röhren zu unterbrechen. (Fig. 100) Aus der Thatsache, dass starke Korrosionen oft an verhältnismässig gut isolierten Stellen, wo Kabel und Röhren sich überkreuzten oder in der Nähe von Eisenbahnschienen befanden, aufgetreten sind, ist zu ersehen, dass dieses an sich praktisch kaum ausführbare Mittel keineswegs seinen Zweck erfüllen würde.

6. Es wurde angeraten, die Richtung des Betriebsstromes der Eisenbahnen öfter zu wechseln, um dadurch die elektrolytische Wirkung periodisch umzukehren und somit ernstliche Wirkungen auf die Kabel und Röhren zu verhüten. Vom praktischen Standpunkte

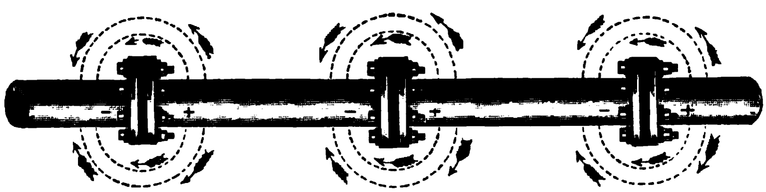


Fig. 100.

aus erscheint aber auch dieses Mittel in seiner Anwendungsweise als wenig zuverlässig, da man eine regelmässige Ausführung der Stromumkehrung kaum erwarten kann. Nur wenn Wechselströme für den Eisenbahnbetrieb benutzt werden könnten, dürfte die fragliche elektrolytische Wirkung auf Kabel und Röhren in bedeutendem Masse herabgemindert werden.

7. Während der Zeit, wo man sich mit dem Studium der vorliegenden Frage beschäftigte, wurden von Fred. S. Pearson, Ingenieur der Westend-Street-Railway zu Boston, zwei Vorschläge gemacht, die, obschon unter sich unabhängig, doch in Verbindung ausgeführt wurden und sich in der Beseitigung des vorliegenden Übelstandes als äusserst zweckmässig erwiesen, wenigstens betreffs der in Gefahr schwebenden Telephonkabel. Zuerst wurde von Pearson darauf hingewiesen, dass, wenn man den positiven Pol des Generators mit dem Gleitkontakte der Motorwagen verbinden könnte, die Gefahr der zerstörenden elektrolytischen Wirkung für den grösseren und verkehrsreicheren Teil der Stadt zu beseitigen und mehr in die Nähe der Kraftstation zu bringen sein würde, wo man

sie dann durch andere Mittel leichter als sonst zu beseitigen vermöge. Dieser Vorschlag wurde befolgt. Man kehrte den Betriebsstrom der Eisenbahnen um und die erwartete Potentialveränderung zwischen Kabeln und Erde stellte sich ein. Man fand nun, dass die Kabel in der Nähe der Kraftstation, welche vorher ein 1—2 Volt negatives Potential zur Erde gezeigt hatten, nunmehr um 1—9 Volt positiv gegen die Erde waren. Die Ströme zeigten (mit Bezug auf Fig. 98) die umgekehrte Richtung.

Der andere Vorschlag Pearsons ging dahin, von der negativen Klemme der Dynamo starke Kupferleitungen abzuzweigen und dieselben durch die gefährdeten Distrikte zu führen, um sie daselbst in verhältnismässig kurzen Zwischenräumen mit den Kabeln zu verbinden. (Vergl. Fig. 101.)

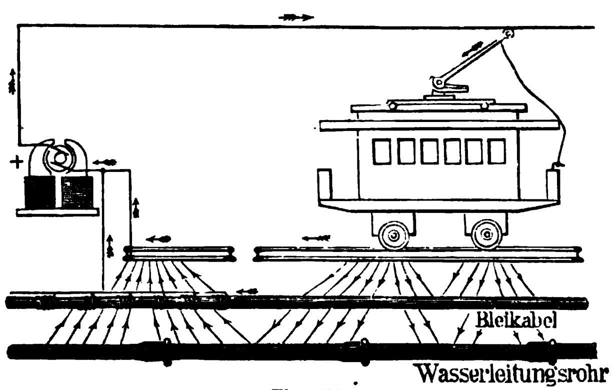


Fig. 101.

Nach dem durch Prof. Thomsons Motorgenerator repräsentierten Prinzip hat dieser den Strom mit niedriger Spannung führende Leiter den Zweck, den Strom aus den Kabeln abzuleiten und somit dessen Übergang in die feuchte Erde zu verhüten.

Man setzte seitens anderer Fachleute anfangs Zweifel in die erwünschte Wirksamkeit dieser Anordnung, indem man es für möglich hielt, dass trotz des guten Rückleiters noch ein Teil des Stromes in die Erde übergehen werde. Die nachher ausgeführten Spannungsmessungen zeigten indessen, dass die Kabel, welche 9 Volt positiv nach der Erde zeigten, eine Ablesung von 22 Volt positiv nach dem Rückleiter ergaben, das heisst, der Rückleiter verhielt sich in Bezug auf die Kabel in allen Punkten gewissermassen negativer als die Erde. Diese Leiter wurden aus vielen, etwa 2 *mm* dicken Kupferdrähten zu 25 *mm* Durchmesser hergestellt, durch den gefährdeten Distrikt bis zu 1400 *m* Entfernung von der Kraftstation geführt

und in den Mannlöchern durch mehrere verlötete Kupferdrähte von 3—4 *mm* Dicke mit den Kabeln verbunden. Wie Fig. 101 darstellt überträgt sich diese Wirkung auch auf die ebenfalls durch die elektrolytischen Wirkungen der Erdströme bedrohten Wasser- und Gasröhren, sodass dieselben in gleicher Weise geschützt werden können.

Über die Frage der Erdströme, ihre Entstehung und Verminderung sind in der E. T. Z. Arbeiten erschienen, auf welche zum näheren Studium hiermit hingewiesen sein möge:

1. Kompensationsvorrichtungen zum Schutz physikalischer Institute gegen elektrische Bahnen von Dr. O. Frölich E. T. Z. 1895, H. 47, S. 147 und 1896 H. 3, S. 40.

2. Zur Frage der vagabondierenden Ströme von Rasch E. T. Z. 1896, H. 3, S. 34.

3. Vorschlag zur Verminderung vagabondierender Ströme bei elektrischen Bahnen E. T. Z. 1896, H. 3 S. 43.

4. Über die Ausbreitung starker elektrischer Ströme in der Erdoberfläche von Strecker E. T. Z. 1896, H. 7 S. 106.

6. Die Oberleitung.

Die erste praktisch ausgeführte elektrische Bahn in der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879, sowie die Lichterfelder Bahn verfolgten betreffs ihrer Stromzuführung einen natürlichen Weg. Man nutzte den vorhandenen Leitungsquerschnitt beider Fahr-Schienen zur Stromleitung aus, und da Holz im trockenen Zustande bei niederen Spannungen ein leidlicher Isolator ist, und man andererseits die Querschwellen aus Holz herzustellen gewohnt war, war eine geschlossene Strombahn durch die beiden Fahrschienen gegeben, deren Isolation von einander noch dadurch erhöht wurde, dass der Erdboden in möglichst geringe Berührung mit den eisernen Schienen gebracht war. Diese erste Stromleitung war also eine oberirdische, da die Schienen frei liegen mussten, um Kurzschluss zu vermeiden. Da aber trotz aller Vorsicht ein für den Bahnbetrieb nutzloser Stromverbrauch durch Stromübergang zwischen den leitenden Teilen nicht zu verhindern war, so musste dieses sonst äusserst einfache System besseren Konstruktionen Platz machen. Hierzu kam, dass die Betriebsspannung nach und nach höher wurde, damit ausgedehntere Betriebe mit technischen und finanziellen Erfolgen betrieben werden konnten, und dass dadurch die Isolationsverhältnisse gesteigert werden mussten. Für die heute üblichen Spannungen von 500—600 Volt wären die Holzschwellen schon verwerfliche Isolationsmittel, sodass diese erste

Stromzuführung für uns nur noch historisches Interesse haben kann. Vielleicht aber ist das Weiterarbeiten an elektrischen Bahnen gerade erst dadurch möglich geworden, dass man die bestehenden Eisenbahnverhältnisse ohne umwälzende Veränderungen auf das neue System übertrug und erst, nachdem der Versuch die Möglichkeit der Ausführung lehrte, daran ging, den einzelnen Bedürfnissen einer elektrischen Bahn Rechnung zu tragen und neue Verhältnisse den alten zugesellte.

In diesem Sinne wurde der zweite Schritt gethan. Man liess für die nächste Ausführungsform den Bahnkörper ohne Veränderung und legte die stromleitenden Teile auf hölzerne Masten besonders. Während man vorher den Eisenquerschnitt der Schienen voll ausnutzte, um für die Stromleitung möglichst geringen Widerstand zu haben, verzichtete man nunmehr vollends auf diese. Es wurden zunächst zwei Drähte an der Seite der Strassen oberirdisch geführt, auf welchen ein Kontaktwagen lief (Spandauer-Berg-Bahn), oder ein Kontaktschlitten glitt, der durch den Motorwagen bewegt wurde, und als dieses sich nicht zu bewähren schien, legte man zwei geschlitzte Eisenrohre oberirdisch nebeneinander und ebenfalls am Rande der Fahrstrasse. In diesen Rohren steckte je ein länglicher Schleifkontakt, der wiederum vom Motorwagen nachgeschleppt wurde. (Frankfurt a./M.-Offenbach, Mödling (Wien)-Hinterbrühl). Besonders diese Rohrkonstruktion mit allen ihren Aufhängungsteilen machte einen durchaus schwerfälligen Eindruck und gewährte nicht für immer die wünschenswerte Betriebssicherheit. Aus diesen Systemen entwickelte sich alsbald eine formvollendetere Ausführung.

Im Jahre 1890 hatte die Firma Siemens & Halske auf ihrer Bahn in Gross-Lichterfelde, zwischen der Kadettenanstalt und dem Lichterfelder Wannseebahnhof, eine oberirdische Leitungsanlage für Bügelkontakt fertiggestellt und in Betrieb gesetzt. Diese Anlage kann als die erste europäische Oberleitung für von unten anliegenden Fahr-Kontakt angesehen werden. Zu gleicher Zeit waren auch in Amerika die Konstrukteure (Sprague, Thomson-Houston u. a. m.) mit der Ausbildung dieses Oberleitungssystems beschäftigt, sodass sich in verhältnismässig kurzer Zeit der 5—6 *m* über Mitte Gleis hängende Fahrdraht zu einem durchschlagenden System ausbildete.

Im Jahre 1891 wurde von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zu Berlin nach dem amerikanischen »Sprague-System« die elektrische Strassenbahn mit oberirdischer Stromzuführung in Halle a. d. Saale und im folgenden Jahre von der Union, Elektrizitätsgesellschaft Berlin, nach dem ebenfalls amerikanischen System »Thomson-Houston« die Bremer Bahn gebaut und eröffnet.

Das in Halle und Bremen angewandte System kam direkt aus Amerika zu uns und es war demzufolge natürlich, dass die jenseits des Oceans massgebenden Grundsätze zunächst für den Bau genannter Oberleitungen benutzt wurden. Seit jener Zeit jedoch ist der deutsche Konstrukteur, Ingenieur und Monteur allmählich auch wieder auf eigene Wege geraten.

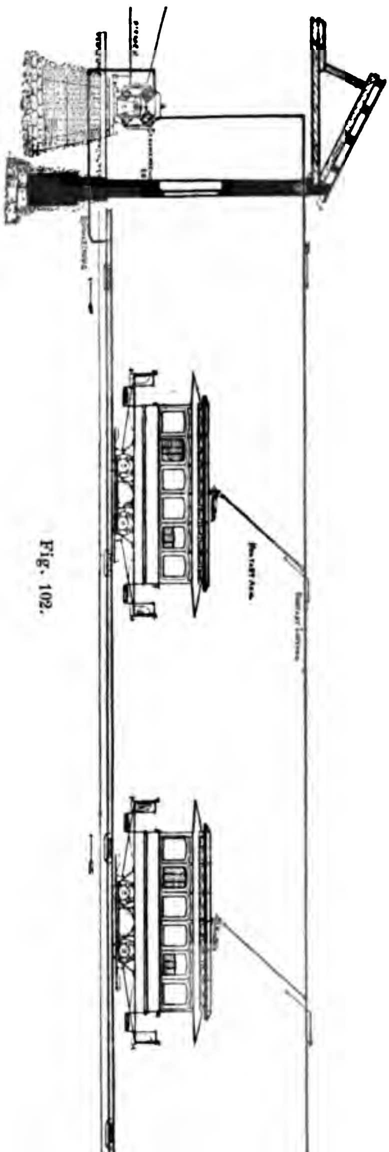


Fig. 102.

Ein Schema der heute gebräuchlichen Oberleitungen zeigt Fig. 102.

Die Oberleitung, auch Hochleitung und oberirdische Stromzuführung genannt, besteht in der Hauptsache aus einem 5—6 *m* über Schienenoberkante und möglichst in der Mitte des Gleises aufgehängten, hartgezogenen Kupferdraht, Fahrdraht genannt, mit geringen Beimengungen von Silicium, von meist runder Querschnittsform. Aus mechanischen Rücksichten ist der geringste Querschnitt 50 *qmm* und ändert sich nur wenig um diese Zahl. Der Fahrdraht wird doppelt isoliert aufgehängt. Zum Befestigen des Fahrdrahtes dienen Isolatoren, welche ihrerseits an elastischen Querdrähten zwischen Wandrosetten, Masten oder Auslegerpunkten befestigt sind.

Die Oberleitung hat von allen Stromzuführungen für elektrische Bahnen die grösste Verbreitung gefunden, weil sie im Bau und in der Unterhaltung die billigste und wirtschaftlichste Anlage gewährleistet.

Die leider allzu oft angeführten ästhetischen Bedenken gegen das oberirdische Stromzuführungssystem stehen in keinem Verhältnis zu

dem, was wir sonst auf der Strasse zu sehen gewohnt sind. Wollte man diesen Bedenken wirklich ein Recht zugestehen, müsste man es auch voll und ganz thun, müsste man hässliche Firmenschilder von den Häusern entfernen und dürfte ausschliesslich nur künstlerisch gestaltete Haus-Façaden zulassen. Allen Anfeindungen gegenüber gestaltete sich aber die Entwickelung des oberirdischen Systemes günstig, weil es sich als das billigste und erprobteste bewährte. Zudem kommt, das es das natürlichste ist, weil es nach Möglichkeit das uns durch die Natur gegebene Isolationsmittel, die Luft, zur Vermeidung des schädlichen Stromüberganges zwischen den stromführenden Teilen ausnützt.

Über Installations-Vorschriften betreffs der Sicherheitsanforderungen in elektrischer und mechanischer Beziehung ist in den Sicherheitsvorschriften für elektrische Bahnanlagen einiges enthalten.

a) Der Fahrdraht.

Die Bezeichnung Fahrdraht ist dem amerikanischen Wort »Trolleydraht« entschieden vorzuziehen, »Kontaktdraht« bezeichnet nicht genügend den Zweck, und unter »Arbeitsdraht« könnte man jeden stromführenden Draht verstehen. Das Wort Fahrdraht ist gut deutsch, bezeichnet vollauf Zweck und Bedeutung und weist ganz besonders auf die Eigenschaften des in der Luft montierten, lediglich dem Fahrzeug dienenden Drahtes hin.

Man unterscheidet einpolige Fahrdrahtleitung, mit einfachem und doppeltem Fahrdraht, und zweipolige Fahrdrahtleitung. Der einfache Fahrdraht für jedes Gleis ist der allgemein übliche, d. h. über jedem Gleis befindet sich ein Fahrdraht, welcher mittels des Wagenkontaktes dem Wagen den Betriebsstrom zuführt. Wenn eine doppelgleisige Bahnanlage stellenweise in eine eingleisige übergeht, oder wenn auf eingleisiger Bahn häufig Ausweichen vorkommen, so wendet man mit Vorteil zwei dicht nebeneinander liegende, den gleichen Pol be-

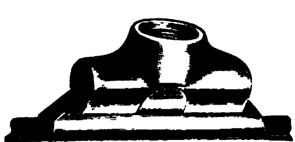


Fig. 103.

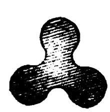


Fig. 104.

sitzende Fahrdrähte an, und vermeidet dadurch Weichen und Weichen-Endverspannungen. Von besonderem Vorteil ist diese Anordnung bei Verwendung des Rollenkontaktes. Die Rolle läuft alsdann stets an dem rechten Draht. Der Bügelkontakt kann jegliche Weichen

entbehren, und fallen die Vorteile der doppelten Fahrdrahtleitung hierbei weniger ins Gewicht.

Durch sein höheres Leitungsvermögen in der Betriebsstromleitung kann der doppelt verlegte Fahrdraht noch von Wichtigkeit sein, da er die billigste Verlegung von Zusatzleitungen ermöglicht. Man wendet den doppelten Fahrdraht meist da an, wo man sonst ein Speisekabel von annähernd gleichem Querschnitt verlegen müsste. Die einpolige, einfache und doppelte Fahrdrahtleitung findet nur Anwendung bei Gleichstrombahnen. Bei Drehstrombahnen, wo drei Zuleitungen erforderlich sind, dient die Fahrschiene als eine Leitung, und zwei nebeneinander im Abstand von etwa 25 bis 50 *cm* von einander verlegte zweipolige Fahrdrähte als zweite und dritte Leitung. Bei diesem zweipoligen Fahrdrahtnetz ist es schwierig, Weichen und Kreuzungen herzustellen, und hilft man sich derart, dass man an diesen Stellen den Drehstrom-Motor als einphasigen Wechselstrom-Motor laufen lässt, der seine Zuleitung durch die Fahrschiene und durch den ununterbrochenen Fahrdraht erhält. Der andere Fahrdraht wird auf die Länge der Kreuzungen, und soweit ein etwaiger Kurzschluss möglich wäre, abisoliert oder unterbrochen.

Doppelpolige Fahrdrähte auch bei Gleichstrom finden dann Anwendung, wenn man sowohl elektrische Beschädigungen bei Drahtbrüchen, als auch Induktionsstörungen in benachbarten Schwachstromleitungen mit Erdpol vermeiden möchte. Man legt alsdann die beiden Betriebspole in die Fahrdrähte, um auf die Leitung der Schienen, bezw. des umgebenden Erdreiches vollständig verzichten zu können. Eine derartige Ausführung zeigt die Strassburger Strassenbahn, erbaut von der A. E. G. (vergl. ETZ 1899, Heft 37, S. 655, od. Ill. Z. f. Kl. u. Strassenbahnen 1899, Heft 17, S. 767).

Sofern man schliesslich eine, mit Ausweichen versehene eingleisige Bahn im Dreileiternetz betreiben will, würde die Fahrschiene als Mittelleiter zu dienen haben, während die beiden Fahrdrähte als Aussenleiter zu schalten sind. Zwei sich begegnende Wagen hätten alsdann stets verschiedene Aussenleiter.

Bei dieser Anordnung ist indessen besonders auf gute Isolation zu achten, da die Fahrdrähte bei nur doppelter Isolation unter doppelter Betriebsspannung gegen einander stehen.

Der Querschnitt des Fahrdrahtes ist meistens rund. Man hat neuerdings auch versucht, einen 8förmigen Querschnitt nach Fig. 103 oder einen solchen nach Fig. 104, bei welchem besonders die grössere Berührungsfläche auffällt, anzuwenden. Diese Formen eignen sich besonders gut zur Befestigung an den Tragisolatoren. Der Draht braucht alsdann nicht in die Backen des Tragisolators festgeklemmt zu werden, sondern kann sich möglichst frei zwischen denselben

hin- und herschieben, um auf grössere Längen einen selbstthätigen Temperaturausgleich zu bewirken. Der entsprechende Isolator besitzt keine Schrauben oder bearbeiteten Flächen, sondern fasst nur vermittelst der ineinander greifenden Teile. Alle Konstruktionen, die Schrauben als Befestigungsteile entbehren können, sind vorzuziehen, da sie geringerer Wartung bedürfen und stets betriebssicher bleiben.

Die Lage des Fahrdrahtes ist meistens in der Mitte des Gleises und zwar so, dass eine Rolle oder gleitender Bügel von unten an den Draht gedrückt werden kann, ohne beim Abrollen oder Dahingleiten durch Vorsprünge im dauernden Kontakt behindert zu werden. Da jede Gleisanlage mit Ausweichen und Abzweigungen versehen ist, folgt man diesen Richtungsänderungen des Gleises beim Fahrdraht durch geeignete, in der Luft hängende Drahtweichen. Der Bügelkontakt macht es wünschenswert, dass der Fahrdraht auf längeren Strecken im Zickzack gelegt wird, damit ein seitliches Hin- und Herbewegen des Fahrdrahtes auf dem Bügel, und somit eine gleichmässige Abnutzung der Gleitfläche am Bügel ermöglicht wird. Der Zickzack kann dabei so verlegt werden, dass er dem Auge unsichtbar bleibt.

Als geeigneter Durchmesser für den Fahrdraht hat sich 7—8 *mm* eingeführt. Ein schwächerer Draht hält den mechanischen Beanspruchungen nicht genügend Stand, während ein noch stärkerer Draht die Handhabung bei der Montage erschwert und ausserdem ein starkes Tragwerk erfordert.

Die neueren Fabrikationsmethoden haben es ermöglichen lassen, diesen hartgezogenen Kupferdraht oder, wie er auch mit kleiner Variation genannt wird, Siliciumbronzedraht, in Adern von 1500 *kg* Gewicht herzustellen. Dieses Gewicht entspricht einer Länge von 4300 *m* bei 7 *mm*, und 3300 *m* bei 8 *mm* Drahtdurchmesser. Die Zerreissfestigkeit dieses Drahtes beträgt 40 *kg* für das *qmm*. Die Leitungsfähigkeit des verwandten Materials ist nahezu die gleiche wie die des gewöhnlichen Kupfers. Bei dem als Siliciumbronzedraht in den Handel gebrachten Draht ist das Leitungsvermögen gleich 97 % des reinen Kupfers.

Da es natürlich äusserst schwierig ist, die oben angegebenen Längen von einem einzigen Kupferblock herunterzuwalzen, so hat man mit gutem Erfolge Lötungen angewandt, welche vor dem letzten Durchziehen des Drahtes hergestellt werden. Da der Draht durch die Lötung an seiner Härte und somit an seiner Festigkeit Einbusse erleidet, so ist es nötig, vor dem letzten Durchziehen durch das Zieheisen diese Arbeit vorzunehmen. Die Praxis hat gezeigt, dass diese Lötstellen im Gebrauch sehr fest sind und der Gesamtfestigkeit wenig nachstehen.

Es lässt sich freilich darüber streiten, ob es überhaupt nötig ist, derartige Fabrikationslängen herzustellen, weil, wie in einem späteren Teil dieses Buches gezeigt werden wird, es besser ist, nach gewissen Strecken den Draht abzuschneiden, um ihn gegen Längszugrichtungen zu verankern, indem man das Ende sich fest verschlingen lässt. Kurze Abfallenden lassen sich stets zu Schienenverbindungen und dergleichen wieder benutzen.

Die Abnutzung des Fahrdrahtes kann auf drei Ursachen zurückgeführt werden. Zunächst spricht die rollende bezw. gleitende Reibung des Wagenkontaktes an dem Fahrdrahte mit. Obgleich der Rollenkontakt sich an der Unterseite des Drahtes abwälzt und bei genauer Führung keine Spuren reibender Flächen zeigt, so kommen bei seitlichen Schlägen des Kontaktarmes und in den Kurven Flächenabnutzungen durch die Rollenflanschen vor, welche indes so gering sind, dass sie bedeutungslos sind. Der reibende Bügelkontakt lässt voraussetzen, dass eine grössere Abnutzung an der Unterfläche des Fahrdrahtes stattfinden wird. Indessen ist durch die weiche Beschaffenheit des Bügelmaterials oder durch die Schmierung der Schleiffläche auch hier die Abnutzung auf das geringste Mass herabgedrückt worden.

Von einer wesentlichen Abnutzung des Fahrdrahtes kann daher weder bei Rollenkontakt, noch bei Bügelkontakt die Rede sein; vielmehr lässt sich der Wagenkontakt stets so einrichten, dass nur dieser infolge weicherer Beschaffenheit gegenüber dem Fahrdrahtmaterial abgenutzt wird. Es ist also gleichgültig, ob der Wagenkontakt sich am Fahrdraht abrollt, oder ob er unter Anwendung von Schmiere und Weichmetall an demselben gleitet.

Vielleicht wirken auch die Vibrationen, denen der Draht ständig ausgesetzt ist, mit der Zeit auf schädliche Strukturveränderung. Brandstellen und Schmelzperlen werden am Fahrdraht immer da beobachtet werden, wo ein starker Wagenkurzschluss stattgefunden hat, wo ferner durch mangelhafte Gleislage Vertikalstösse auf den Wagenkontakt kommen, die ein Lüften der Kontaktflächen bewirken und wo schliesslich stets grosse Stromstärken entnommen werden, wie bei Haltestellen und starken Steigungen.

Je nachdem der Kontakt gut oder schlecht ist, wird der Strom mittels kleinerer oder grösserer Funken sich Übergang verschaffen und so nach und nach den Fahrdraht deformieren. Eine solche funkenbildende Mangelhaftigkeit des Kontaktes ist hier, wie in allen den Fällen, wo feste Körper unter nicht sehr starkem Drucke sich aneinander vorbeibewegen, zweifellos vorhanden und tritt, ähnlich wie beim Lichtbogen, eine starke Abnutzung des positiven Kontaktstückes ein, indem hier nicht nur die stärkere Verbrennung, sondern auch

eine elektrolytische Überführung von Teilchen zum negativen Pole vor sich geht. Man hat indessen bisher weder eine messbare Verstärkung oder Verschwächung des Fahrdrahtes feststellen können. Betreffs der Güte des Kontaktes dürfte dem reibenden Bügelkontakt der Vorzug vor dem rollenden Kontakt gegeben werden.

Man legt den negativen Pol an die Fahrschienen, den positiven an die Oberleitung.

Bei dem späterhin beschriebenen Dreileitersystem müssen die Aussenleiter abwechselnd an den positiven und negativen Pol angeschlossen werden.

Die Auswechslung des Fahrdrahtes braucht aus Gründen der Reibungsabnützung kaum vorgesehen zu werden, dagegen wird oft behauptet, dass Kupfer durch den Stromdurchgang ein minderwertiges Gefüge erhält und vielleicht in 10 oder 15 Jahren nicht mehr die mechanische Zugfestigkeit besitzt, welche nötig ist, um die Sicherheit des Betriebes zu gewährleisten, und dass er aus diesem Grunde ausgewechselt werden müsste.

Sowohl mit Bezug auf das günstigste Arbeiten des Fahrkontaktes, als auch mit Bezug auf das gute Aussehen der Oberleitung ist die Spannung des Fahrdrahtes in der geraden Linie und in der Kurve möglichst straff zu halten, um unnötige Hebungen und Schwankungen des Fahrdrahtnetzes zu vermeiden. Gegen eine straffe Spannung können nur die erhöhten Resonanzwirkungen des Drahtes sprechen. Die Rolle wird indessen bei stark durchhängendem und schwankendem Draht selbst in der Geraden sehr leicht zu Entgleisungen neigen. Der Bügel erfordert infolge seiner nach oben gewölbten Kontaktschiene eine besonders straffe Fahrdrahtlage, weil bei tiefen Durchhängen der Draht von der gewölbten Bügeloberfläche leicht abgedrückt werden kann.

In den Kurven verlangt der Rollenkontakt eine Abspannung des Fahrdrahtes durch möglichst vielseitige Polygone, während der Bügelkontakt weniger Polygonpunkte zulässt, da die Ausweichungen des Fahrdrahtes nach rechts und links weiter vor sich gehen können, als bei dem Rollenkontakt. Bei der Rolle üblicher Form ist es indessen nicht etwa üblen Eigenschaften der Rolle zuzuschreiben, dass häufige Abspannpunkte nötig werden, sondern lediglich ihrer Befestigung in der Rollenstange. Die Rollenstange selbst vermag infolge ihrer Gelenkigkeit sehr weite Ausbiegungen nach der Seite zuzulassen, ist jedoch hierin an die Lage der Rolle gebunden.

Das neuerdings in Aufnahme gekommene Dickinson'sche System der Kontaktrollenbefestigung zeigt, dass es nur nötig ist, auch die Rollen gegen die Kontaktstange in ein Universalgelenk zu legen, damit sie sich leicht in alle Richtungsänderungen des Fahrdrahtes einstellen

kann. Sofern sich die sowohl um eine vertikale, als auch um eine horizontale Achse drehende Rolle selbst an einer seitlich weit ausladenden Kontaktstange befindet, ist jederzeit die Kontaktgebung zwischen Rolle und Fahrdraht gesichert, auch wenn die Polygonwinkel erheblich kleiner sind als sonst üblich, und wenn die Ausweichungen des Abspannpunktes nach der Seite bedeutend weiter, z. B. bis zu 3.00 *m* von der Mitte des Gleises erfolgen.

Als tiefsten Punkt des Fahrdrahtes ist man gewöhnt 5 *m* zu projektieren, und zwar weil es sich herausgestellt hat, dass diese Höhe nötig ist, damit hochbeladene Fuhrwerke unbeanstandet unter dem Fahrdraht fahren können. Unter Hinzurechnung des Durchhanges ergiebt sich die Fahrdrahthöhe an den Querdrahtisolatoren zu 5,50 *m* und an den Querdrahtaufhängungspunkten zu ca. 6 *m*. Die letztgenannte variiert natürlich je nach den Spannweiten. Als höchsten Punkt des Fahrdrahtes kann man 6 *m* bezeichnen, weil eine noch höhere Lage desselben die Masten verteuert, ohne deswegen für den elektrischen Bahnbetrieb günstigere Verhältnisse zu schaffen.

Die Oberleitung wird durch die Lage des Fahrdrahtes und durch die Anlage des Wagenkontaktes an den Fahrdraht charakterisiert. Man unterscheidet hierbei mittlere und seitliche Fahrdrahtlage (Dickinson), Rollenleitung und Bügelleitung (Siemens & Halske). Die mittlere Fahrdrahtlage ist zur Zeit die häufigste und besitzt keine besondere Benennung, die seitliche wird durch das System Dickinson und dasjenige von Kenway vertreten. Das für Kanalschiffahrt von Köttgen angegebene System ähnelt dem Dikinson'schen, nur drückt die Rolle nicht von unten an den Fahrdraht, sondern läuft oberhalb desselben und wird von einer Rollenstange geführt. Weichen und Kreuzungen sind hierbei schwieriger durchzuführen, indessen für Kanalschiffahrt auch überflüssig.

Ehe auf die Einzelheiten einer Oberleitung eingegangen wird, mögen in kurzen Worten die nachfolgenden Abweichungen der allbekannten Oberleitung erwähnt werden, wodurch sich zugleich die Merkmale der Systeme einprägen.

Das System Dickinson verdankt seine Entstehung dem Bestreben, den Fahrdraht nicht mehr als absolut nötig über dem Strassenverkehr zu haben.

Als im Jahre 1892 die Einführung des elektrischen Betriebes in South-Staffordshire erfolgen sollte, wurde die Genehmigung zur oberirdischen Stromzuführung nach dem bis dahin gebräuchlichen System nicht erteilt, und sah sich deshalb der Generaldirektor Dickinson der Tramway-Gesellschaft dieser Stadt gezwungen, wenn er nicht auf die Einführung des elektrischen Betriebes aus pekuniären

und technischen Gründen verzichten wollte, ein Oberleitung-System zu finden, welches in ästhetischer Beziehung günstiger wirkte als die bisherigen.

Das aus diesen Bestrebungen hervorgegangene und nach seinem Erfinder benannte Diskinson'sche System ist eine oberirdische Stromzuführung mit Rollenkontakt, deren spezifisches Merkmal eine in einem Universalgelenke gelagerte Rolle ist. Ausser der üblichen horizontalen Rollen-Drehachse ist der Rollenkorb mit einer vertikalen Achse am obersten Stangenende versehen. Um das obere Universalgelenk zur Geltung zu bringen, muss die Rollenstange auf dem Wagendache ebenfalls neben der üblichen, horizontalen Drehachse an einer Vertikalachse drehbar aufgebaut werden, was übrigens bei der gewöhnlichen Rolle auch zulässig und üblich ist. Infolge dieser Anordnungen kann ein Ausschlag der Rolle bis zu 3 *m* nach beiden Seiten der Gleismitte erfolgen, vorausgesetzt, dass die Rollenstange entsprechend lang ist. Hieraus ergiebt sich die grosse Beweglichkeit der Stromabnehmerrolle. Durch dieses Universalgelenk wird eine schädliche Schrägstellung der Rolle gegen den Fahrdraht gänzlich vermieden, d. h. die Horizontalachse der Rolle kann niemals eine schräge Lage erhalten. Die vertikale Rollenkorbachse wird nur durch verschiedene Fahrdrahthöhen in ihrer Vertikalrichtung verändert, was aber ohne Einfluss auf die sichere Kontaktgebung und Rollenführung ist.

Die Forderung, die Fahrdrahtlage möglichst genau der Gleisachse anzupassen, kann man hier fallen lassen, vielmehr ist es zulässig, in den Grenzen des durch die seitliche Bewegung der Rollenstange gegebenen Spielraumes von der Mittellage sowohl in der geraden Strecke, als auch in der Kurve abzuweichen. Naturgemäss erhält die Oberleitung in den Kurven und Weichen ein leichteres und gefälligeres Aussehen. Die bei der Rolle gewöhnlicher Konstruktion nötigen, vielen Abspannpunkte fallen fort, und die Peripheriewinkel des Fahrdrahtes dürfen bis zu 120° projektiert werden, sodass selbst in Kurven mit kleinem Radius die normalen Spannweiten von ungefähr 35 *m* zwischen zwei Aufhängungspunkten als Sehne des Kurvenkreises beibehalten werden können. Durch den entstehenden seitlichen Rollendruck erhält der Fahrdraht ebenfalls eine seitliche Beanspruchung, die indessen ohne Bedeutung für die Festigkeit der Oberleitung ist.

Dieses System wird immer dort Beachtung finden, wo man bei der gewöhnlichen Rolle Querdrähte zu spannen gezwungen wäre, wie z. B. bei an einer Strassenseite gelegenen zweigleisigen Strecke, weil man von der Ausführung mit einseitigen Auslegern für Doppelleitung gern absieht. Hier ist es möglich, nach dem Dickinson'schen

System mit kurzen Auslegern auszukommen; es wird dadurch das Strassenbild weniger beeinträchtigt, und die Kosten der Oberleitung werden naturgemäss verringert.

Der Druck, mit welchem die Rolle gegen die Oberleitung drückt, darf 10 *kg* nicht übersteigen.

Die Vorzüge der Dickinson'schen Systems sind kurz zusammengefasst die folgenden:

1. Durch den seitlichen Ausschlag und die Drehung der Rolle um eine vertikale Achse wird erreicht, dass die Lage des Fahrdrahtes in gewissen Grenzen von der Gleisachse unabhängig ist, dass dadurch die Querabspannungen zum Teil erübrigt werden und dass die Aufhängung des Fahrdrahtes an Auslegern stattfinden kann, welche längs des Bürgersteiges (Gangbahnen) aufgestellt werden können.

2. Aus gleichem Grunde wird die Zahl der Abspannpunkte in den Kurven vermindert, wodurch sich ein leichteres und gefälligeres Aussehen der Oberleitung und eine leichtere Montage, also indirekt eine Verminderung der Anlagekosten, ergiebt.

3. Der Fortfall besonderer Abspannungen bei Gleisreparaturen, da die weite Ausladung des Rollenarmes das Fahren des Wagens auf einem Nebengleis meist ohne Änderung der Fahrdrahtlage erlauben wird.

4. Infolge Wegfalls der Schrägstellung der Rolle in der Kurve, durch die Bewegung derselben um eine vertikale Achse, wird eine seitliche Abnutzung des Fahrdrahtes durch die Rollenflantschen vermieden.

5. Jede beliebige Leitung kann mit der Dickinsonrolle befahren werden, wodurch eine sichere Kontaktgebung gewährleistet ist, wohingegen im umgekehrten Falle die steife Rolle sicher entgleisen würde.

Das Kenway-System will ebenfalls den Fahrdraht nur an äusserst kurzen Auslegern montieren, wobei wie im vorhergehenden Falle, die Kontaktstange sehr lang sein muss.

Es kommt sowohl für einfache wie für Doppelgleise nur eine Leitung zur Verwendung, und anstatt der Kontaktrolle wird zur Aufrechterhaltung des Kontaktes ein Stab benutzt. Um es zu ermöglichen, dass die Gleitkontakte, welche zwei in entgegengesetzter Richtung laufenden Wagen angehören, unter Benutzung derselben Leitung aneinander vorüberfahren können, sind dieselben senkrecht angeordnet und machen nicht wie bisher auf der unteren Fläche des Drahtes, sondern an der Seite des Fahrdrahtes Kontakt. Der Arm, welcher hier die Rolle ersetzt, ist an einem am Wagendache angebrachten, senkrechten Ständer mittels einer Vorrichtung befestigt, welche eine in gewissen Grenzen sich haltende Verstellung gestattet.

Der Rollenarm kann sich frei bewegen; durch Anbringung einer auf dem Wagendache am Fusse des vertikalen Ständers befestigte Feder oder einer anderen ähnlichen Anordnung hat der Arm das Bestreben, eine senkrechte Stellung zum Wagen nach derjenigen Seite des Gleises hin, an welcher der Leitungsdraht sich befindet, einzunehmen.

Den eingangs erwähnten Vorteilen durch die Konstruktion selbst, insbesondere Anwendung nur eines Leitungsdrahtes, stehen jedoch die Bedenken gegenüber, welche Folgen das Zusammenstossen beider Kontakte bei grösserer Fahrgeschwindigkeit haben kann; ferner ist die ungleiche Belastung der beiden sich begegnenden Wagen bei Berührung beider Kontakte nicht ausser Acht zu lassen. Ausserdem wird eine leichte Schwankung oder Abweichung einer Schiene eine verhältnismässig beträchtliche, vertikale Verschiebung der Kontakte veranlassen, was Bedenken erregen kann; endlich dürften diese Anordnungen in Gleisekrümmungen Schwierigkeiten begegnen.

Das Bouchet-System besitzt keinen eigentlichen Fahrdraht, sondern nur stromführende, aber von Erde isolierte Querdrähte, die um Wagen- oder Zuglänge voneinander entfernt sind. In der Längsrichtung der Wagen ist ein senkrechter Bügel befestigt, welcher den Betriebsstrom abnimmt. Unter diesen Bedingungen berührt der Leiter fortwährend einen der Querdrähte, die durch eine unterirdische Leitung in beständiger Verbindung mit der Kraftstation stehen.

b) Das Tragwerk.

Der Fahrdraht wird in seiner Höhenlage durch Querdrähte, die über die Strasse, bezw. über den Bahnkörper gespannt werden, oder durch Ausleger, die an besonderen Masten befestigt sind, festgehalten. Querdrähte finden mit Vorteil überall da Anwendung, wo die Bahn und der Fahrdraht in der Mitte einer noch für anderes Gefährt benutzbaren Strasse liegen muss. In diesem Falle werden an den Strassenrändern eiserne oder hölzerne Masten aufgestellt, und je nachdem die Umgebung es erfordert, werden diese Masten in einfacher oder dekorativer Weise ausgeführt. In diesen Gegenständen kann ein grosser Luxus getrieben und verlangt werden, und wenn man

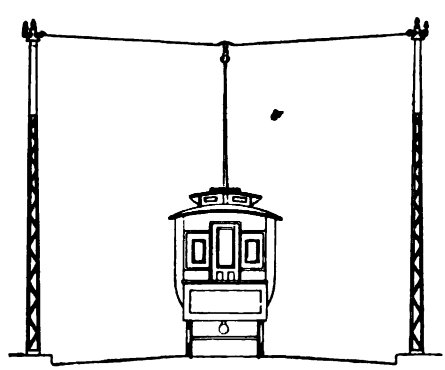


Fig. 105.

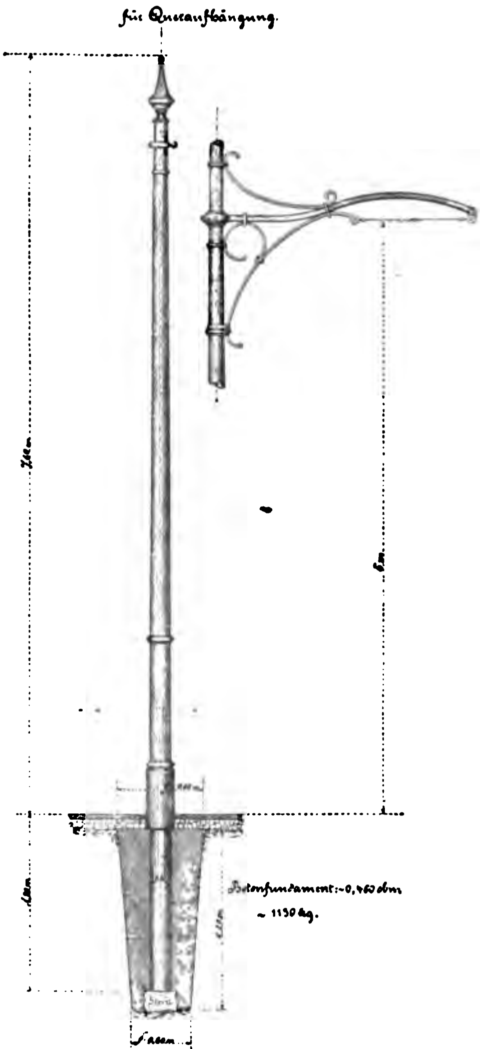


Fig. 106.

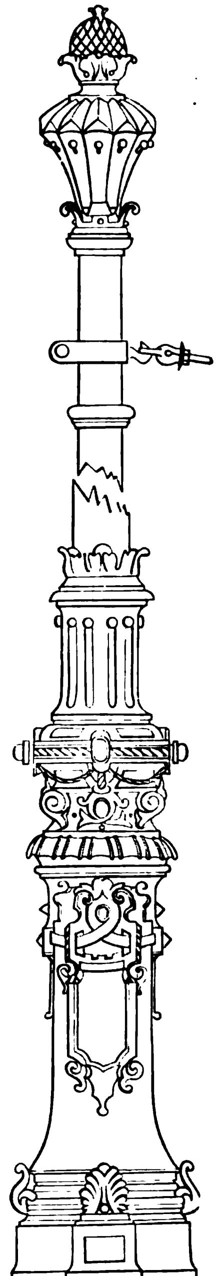


Fig. 107.

bedenkt, dass alle 30—40 *m* ein bezw. zwei Masten Verwendung finden müssen, so wird erklärlich, dass die Anlagekosten einer Bahn bei teuren Masten ganz wesentlich gesteigert werden. Die verschiedensten Formen der Masten zu beschreiben dürfte zu weit führen, es sei daher nur bemerkt, dass der Mast etwa 6 *m* über der Erde und etwa 2 *m* unterirdisch, also zusammen rund 8 *m* lang sein muss, und dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen an dem oberen Teil des Mastes durch das Stromzuführungshängewerk eine Zugspannung von 150—500 *kg*, in Ausnahmefällen auch bis zu 1000 *kg*, auftritt. Es ist nicht zu leugnen, dass den sehr einseitigen Beanspruchungen ein Gittermast nach Fig. 105 am besten widersteht. Verlangt indessen das Auge ein mehr dekoratives Aussehen des Mastes, so findet der Rundmast in den verschiedensten Ausführungen und Verzierungen geeignete Anwendung. In Fig. 106 ist ein einfacher Rundmast mit und ohne Ausleger in ganzer Länge dargestellt, während die Fig. 107 die Verzierungen eines reich dekorierten Rundmastes zeigt.

Aber auch der billige Holzmast hat mitunter wegen seiner Isolierfähigkeit eine Berechtigung bei der Verwendung für oberirdische Leitungsträger. Der einzige Mangel, welcher dem Holzmaste anhaftet, ist, dass derselbe an seinem in der Erde befindlichen Teile verfault. Das Imprägnierverfahren mittels Kupfervitriol schützt zwar den oberen, der Luft ausgesetzten Teil des Holzmastes sehr gut, verlängert aber die Haltbarkeit im feuchten Erdboden nicht. Besonders kalkhaltiger Boden greift das Holz in wenigen Jahren soweit an, dass der Mast ausgewechselt werden muss. Rechnet man, im günstigen Falle, dass ein Holzmast 10 Jahre aushält und durchschnittlich 10 Mark kostet, so würden bei 50jähriger Konzessionsdauer einer Bahn 5 Maste je 10 Mark = 50 Mark aufzustellen sein. Rechnet man für Aufstellen, Auswechseln u. s. f. jedesmal 7—8 Mark, so kostet während 50 Jahren ein Mast 85—90 Mark, wofür derselbe Mast in Eisen gut und gern her- und aufzustellen ist. — Man sieht also, dass unter den gewohnten Verhältnissen der Holzmast keinen pekuniären Vorteil bietet. Es ist daher das Bestreben auf eine bessere Konservierung des unteren Teiles des Holzmastes zu richten.

In dieser Beziehung erscheint das eigenartige Verfahren des Baumeisters Fischer in Rawitsch beachtenswert. Der in der Erde sitzende, vor Fäulnis zu schützende Teil des Holzpfahles wird mit einer Umhüllung von sogenannter Faltenpappe umgeben. Diese Faltenpappe besitzt unverziehbare schwalbenschwanzförmige Falten, siehe Fig. 108. Die Falten kommen in ihrer Längsrichtung senkrecht zu stehen, Fig. 109. Die entstehenden Hohlräume werden mit antiseptischen Stoffen, wie Weiss-



Fig. 108.

kalk, Lehm, Kupfer-, Zink- oder Quecksilbersalz ausgegossen. Weisskalk scheint in besonderem Masse zu diesen Konservierungszwecken geeignet zu sein. Der Imprägnierung mittels Kupfervitriol gegenüber bietet das angegebene Verfahren, sowohl was Billigkeit als auch Schnelligkeit in der Ausführung und Wirksamkeit anbetrifft, entschiedene Vorzüge.

Der Sauerstoff der Luft, Sonnenschein und Wind genügen bei gutem Holze vollständig, um auch ohne Imprägnierung des oberen Pfahlteiles eine Fäulnis des an der Luft befindlichen Holzes zu verhindern. Um hierin einen sicheren Erfolg zu erreichen, ist es aller-

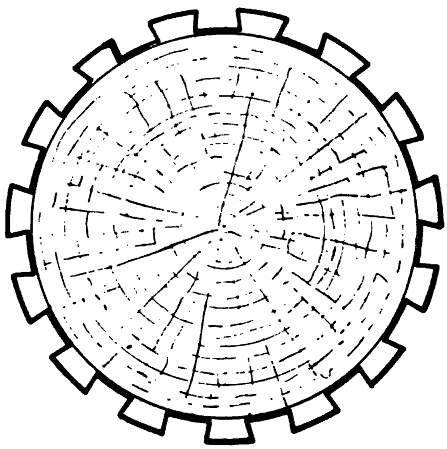


Fig. 109.

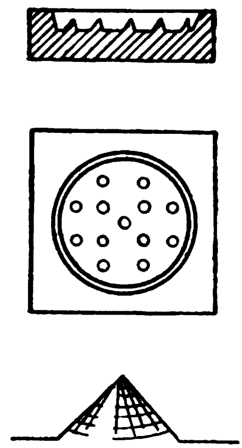


Fig. 110.

dings notwendig, in der Wahl des Holzes vorsichtig zu sein und nur solche Hölzer zu verwenden, welche im Dezember und Januar gefällt sind, da diese an Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit den zu anderen Jahreszeiten gefällten Hölzern bei weitem überlegen sind.

Bei Ausführung des Fischer'schen Verfahrens ist am unteren Teile des Mastes folgendes zu beachten. Zur Erzielung möglichster Haltbarkeit dient als Fundament ein quadratischer, etwa 800 *qcm* grosser, 8—10 *cm* starker Formstein (Hartbrandziegel), Fig. 110, mit kreisrunder, 4 *cm* tiefer, beckenartiger Einsenkung, welch letztere schon vor dem Einbringen der Stange mit Imprägnierstoff gefüllt werden kann. Zweckmässig wird es sein, bei der Form für den Ziegel ca. 1 *cm* hohe kegelförmige Ansätze vorzusehen, da der Stange hierdurch ein fester Stand gesichert ist.

Das untere Ende der Stange wird bis zu einer Höhe von 20—25 *cm* über dem Erdboden mit der patentierten Faltenpappe, welche in einer Breite von 1 *m* hergestellt wird, benagelt, Fig. 111. Am Zusammenstoss ist die Pappe über und in einander zu legen, sodass die obere, höher liegende Pappe trichterförmig in der unteren Papplage steckt. Der Zusammenstoss wird mit Cement oder Lehm abgedichtet. Ferner sollen zur Erhöhung der Wirkung in verschiedener Höhe angebrachte, schräg nach unten und nach dem Kerne der Stange zu verlaufende Bohrlöcher vor dem Einbringen der Stange mit dem Imprägnierstoffe gefüllt werden.

Zur besseren Verteilung des nach erfolgtem Feststampfen der Stange im Erdboden in die Hohlräume einzugiessenden Imprägnierstoffes, für welchen, wie schon erwähnt, Kalkbrei bezw. Kalkmilch am zweckmässigsten erachtet wird, ist an der Stange eine spiralförmig laufende, dreieckige Rinne anzubringen bezw. einzureissen. Dies geschieht schnell und leicht mit einem sogenannten Geisfuss, indem zwei Arbeiter die Stange bei wagerechter Lage drehen. Zum Schutze der über die Oberfläche reichenden Pappe gegen direkte Beschädigung durch Stösse, sowie zum Schutze der Pappe gegen Aussaugung durch Sonne und Luft ist rund um die Stange sockelbildend ein Cementverputz anzubringen. Durch diesen erhält die Pappe über der Erde eine ebenso unbegrenzte Dauer, wie die welche unter der feuchten Erde luftdicht eingeschlossen liegt.

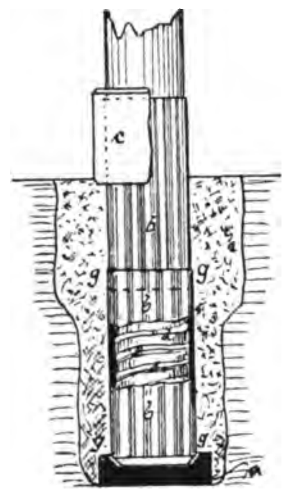


Fig. 111.

a) Formstein, Hartbrandziegel.
b) Faltenpappe.
c) Cementverputz.
d) Bohrlöcher.
e) spiralförmig laufende dreieckige Rinne.
f) Imprägnierstoff (Kalkmilch).
g) Abdichtungen mit Lehm oder Cement.

Der Preis der Faltenpappe, besonders für den in Rede stehenden Zweck hergestellt, beträgt 1 Mark für das Quadratmeter.

Erforderlich sind:

1. an Pappe für einen Mast, 1,07 *qm* . . . . . . 1,07 Mark,
2. an Kalkmilch zum Einguss inkl. Verlust durch Verschütten, rund 4 *l* . . . . 0,03 »
3. an Pappnägeln . . . . 0,03 »
4. 1 Formziegel . . . . 0,10 »
5. 1 Cementsockel, 30 *cm* hoch, 5 *cm* unter Erde reichend, $3^1/_2$ *cm* stark . . . . 0,20 »

1,43 Mark

Die Herstellungskosten für einen Mast sind also bedeutend billiger als bei der Präparierung mit Kupfervitriol. Zu erwähnen ist noch, dass sämmtliche Arbeiten für die beschriebene Konservierung auch ausserhalb der Verwendungsstelle vorgenommen werden können, obgleich es empfehlenswerter bleibt, an Ort und Stelle zu verfahren.

Die Anwendung dieser Mastpräparierung dürfte dann auf Schwierigkeiten stossen, wenn der Seitenzug des Mastes zu gross wird, weil die Faltenpappe und ihre Füllung dem grossen spezifischen Druck schwerlich widersteht. Für leichtere Masten soll sich das Verfahren bewährt haben.

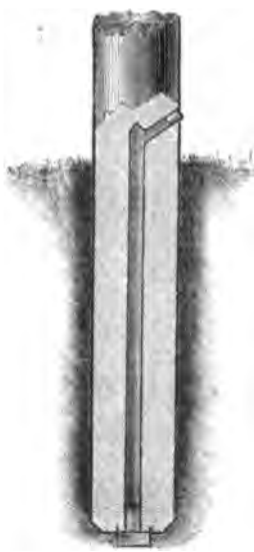


Fig. 112.

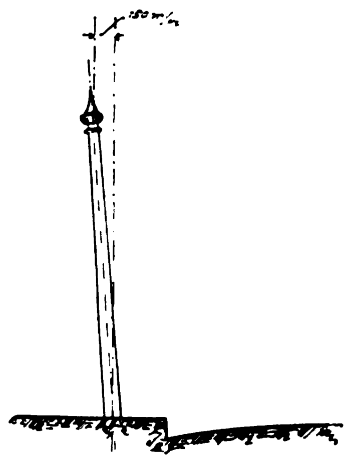


Fig. 113.

Mit kurzen Worten sei auch des Liebau'schen Verfahrens zur Imprägnierung von in der Erde steckenden Hölzern gedacht. Hierbei wird derjenige Teil des Pfahles, der von der Erde umfasst und beeinflusst wird, mit einem durch Fig. 112 angedeuteten Mittelloch versehen, welches gestattet, das äusserst intensiv wirkende Kreosotöl von Zeit zu Zeit nachzufüllen und dadurch eine vollständige Durchtränkung des am meisten des Schutzes bedürftigen Pfahlstückes zu erreichen. Auch dieses Verfahren ist äusserst billig, es ist jedoch bei rissigem Holze nicht anwendbar, da alsdann das Öl durch die mit der Zeit entstehenden Risse abläuft.

Für die Aufstellung der Maste ist die Regel zu beachten, dieselben gegen Zug, d. h. am oberen Ende nach hinten zu setzen,

damit nach Aufbringung der Spanndrähte die Durchbiegung des Mastes nach vorn nicht das Gefühl erweckt, als würde der Mast überlastet sein.

Diese Neigung beträgt bei Eisenmasten ca. 20 *mm* für 1 *m* Stangenlänge und mindestens doppelt so viel bei Holzmasten. Bei Aufstellung von Auslegersäulen ist darauf zu achten, dass der Ausleger eine auf die Gleisachse genau senkrechte Richtung erhalte. Die Abweichung von der Senkrechten am Kopfe des Mastes wählt man lieber 50 *mm* grösser als die grösste Durchbiegung beträgt, da es unverhältnismässig schlechter aussieht, wenn ein Mast zu weit nach vorn, als zu weit nach hinten steht, und da ein Vorkommen der Maste später doch stattfindet. Für eine normale Durchbiegung von 100 *mm* ergiebt sich daher eine Abweichung des Mastes von der Vertikalen am Kopfe zu 150 *mm* (Fig. 113).

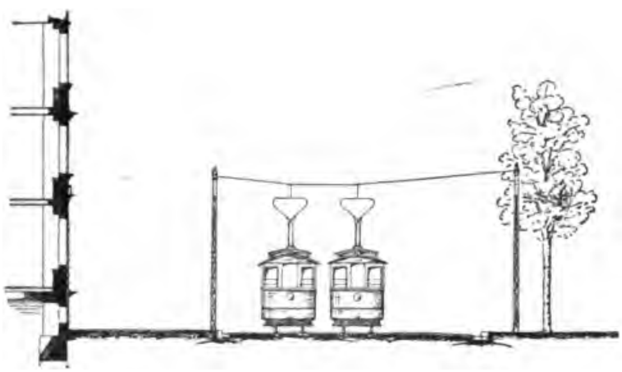


Fig. 114.

Hierbei ist darauf zu sehen, dass man die Zugrichtung genau beachtet, besonders bei denjenigen Masten, an welchen mehr als ein Spanndraht angreift, da in einem solchen Falle der Mast der Richtung der Kraftresultante entsprechend geneigt gesetzt werden muss.

Die Maste zum Tragen von Querdrähten werden zu beiden Seiten der Strasse auf den Bürgersteigen und, wenn irgend angängig, einander gegenüber aufgestellt wie Fig. 114 zeigt. Das letztere ist jedoch durch die Konstruktion nicht bedingt, vielmehr kann in besonderen Fällen die Verbindungslinie schräg zur Strasse laufen. Hierdurch wird das gute Aussehen der Anlage beeinträchtigt und ist dieses daher thunlichst zu vermeiden.

Stehen entlang der Bürgersteige Bäume oder Laternenpfähle, so sind die Maste mit denselben in eine Flucht zu setzen, andernfalls erhalten die Maste von der Kante des Bügersteigs eine Entfernung vonrund 0,50 *m* bis Mitte Mast. Dieses Mass ist mit Rücksicht

auf den Wagenverkehr erforderlich, damit die Maste nicht durch dicht am Bürgersteige fahrende Wagen beschädigt werden.

Wenn der Fusssteig sehr schmal ist, sodass durch den Mast der Durchgang behindert würde, und die Anbringung von Rosetten an den Häusern nicht möglich ist, so empfiehlt es sich, den Mast dicht an das Haus zu setzen. Ferner ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Maste nicht vor Hauseingängen und besonders Hauseinfahrten zu stehen kommen, oder an die letzteren zu nahe herantreten. Lässt sich letzteres nicht vermeiden, so muss zum Schutze gegen Anfahren vor den Mast ein Prellstein gesetzt werden.

Die Stärke der Maste richtet sich nach den Belastungen. Bei zweigleisigen Strecken reichen in der Regel Maste für einen am Kopfe angreifenden Horizontalzug von 250 *kg*, bei eingleisigen Strecken für einen solchen von 150 *kg* aus. Bei starken Kurven in Weichen und zum Abspannen der Leitungen an den Endpunkten bezw. Streckenverankerungspunkten müssen jedoch Maste für einen am Kopfe angreifenden Horizontalzug von 500 *kg* gewählt werden. Die Länge der Maste über dem Erdboden bestimmt sich zu

$$L = h + \frac{a}{10} + 0{,}5\,m.$$

Hierin bedeutet (Fig. 115) h die Entfernung des durch Polizeiverfügung festgesetzten tiefsten Punktes der Fahrdrahtes über Schienenoberkante in *m*. (Mindestens 5 *m*).

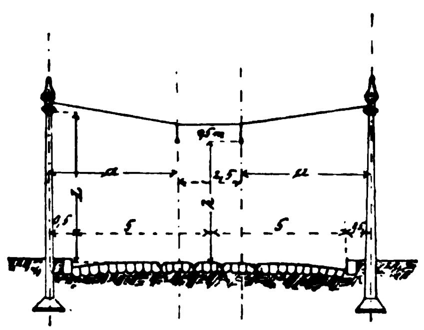


Fig. 115.

a = horizontale Entfernung des Fahrdrahtes vom Mitte Mast in *m*.

0,5 *m* sind für den Durchhang des Fahrdrahtes und die Entfernung desselben vom Querdraht an der Aufhängung berechnet.

Liegt z. B. der tiefste Punkt der Fahrleitung 5,50 *m* über SO, so muss die Höhe L der Maste über SO bei zweigleisiger Strecke, einer Entfernung der Gleismitte von 2,50 *m* und einer Fahrdammbreite von 10 *m* entsprechend sein:

$$L = 5{,}5 + \frac{11 - 2{,}5}{2 \cdot 10} + 0{,}5 = 5{,}925\,m.$$

Dieses gilt unter der Voraussetzung, dass die Gleise in der Mitte der Strasse liegen. Bei einseitiger Lage der Gleise sind die Maste

so hoch zu machen, dass die tragenden Querdrähte eine Steigung von 1 : 10 erhalten. Hierdurch würden sich jedoch ungleiche Masthöhen für einseitige Gleisanlagen ergeben, und da dies nicht gut aussieht, so macht man die Maste für gleiche Fahrdammbreiten sämtlich gleich hoch und gleicht die Höhenunterschiede der Querdrahtbefestigungen dadurch aus, dass man die letzteren an den Masten verschiebt. Dies gilt jedoch nur für diejenigen Maste einer Strasse, welche in der gleichen Flucht liegen. Treten einzelne Maste aus derselben heraus, z. B. bei Querstrassen, so wählt man für die grössere Entfernung von a einen entsprechend höheren Mast, damit der tragende Teil des Querdrahtes eine Steigung von 1 : 10 erhalten kann. Man kann sich, wenn vorhandene Mastlängen nicht ausreichen, an solchen Punkten auch in der Weise helfen, dass man zwei stärkere Maste wählt, und dem Querdraht eine geringe Steigung, etwa 1 : 15 oder 1 : 20 giebt.

Das bezüglich der Maste von ungleicher Höhe Gesagte gilt auch für solche, welche auf freien Plätzen, an Kreuzungspunkten u. s. w. zu stehen kommen, da hier naturgemäss symmetrische Anordnung der Maste zur Gleisachse in den meisten Fällen ausgeschlossen ist.

Die Einsatztiefe der Maste in den Erdboden muss bei einem Horizontalzug bis 250 *kg* 1,80 *m*, bei 500 *kg* und darüber 2,00 *m* betragen, damit dieselben genügende Sicherheit gegen Umkippen erhalten. Eiserne Maste, besonders Rundmaste, sind ringsum zum Schutz gegen Abrosten mit einer 20—25 *cm* starken Betonschicht zu umgeben, wodurch zugleich der Mast ein genügendes Widerlager im Erdreich erhält.

Gittermaste werden ebenfalls, wenn dies vorgeschrieben ist, in Beton gesetzt, öfters jedoch werden Wellblechwiderlager angewendet, um dem Maste genügende Standfestigkeit zu geben. Als unterer Abschluss dient gewöhnlich ein grösserer Stein, welcher zugleich das Einsinken des Mastes während des Setzens verhindert.

Beim Einsetzen der Maste ist zu beachten, dass dieselben nicht auf Gas- und sonstigen Röhren oder zwischen denselben stehen. Es ist besonders darauf zu achten, dass die Erde beim Einschütten in kleinen Lagerstärken (15—20 *cm*) gut festgestampft wird.

Die Entfernung der Mastenpaare in der Längsachse der Strasse gemessen, d. h. die Länge der Spannweiten des Fahrdrahtes ist einesteils durch die Widerstandsfähigkeit der Tragsäulen begrenzt, andernfalls darf dieselbe nicht zu gross gewählt werden, weil der Durchhang der Fahrleitung im Quadrate der Entfernung zunimmt, dies wieder höhere Maste bedingt und ferner die gleichmässige Stromabnahme durch die zu grossen Höhenunterschiede bei langer Spannweite beeinträchtigt würde.

Mit Rücksicht darauf wählt man die normalen Spannweiten zu 35 *m*, in einzelnen Fällen kann man ganz ausnahmsweise bis 40 *m* gehen. Muss in besonderen Fällen noch eine grössere Spannweite

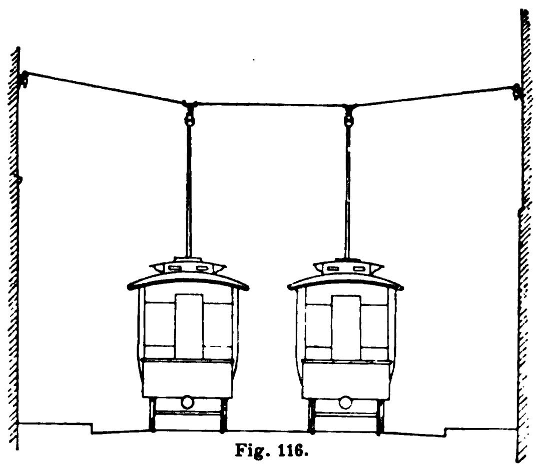


Fig. 116.

gewählt werden, z. B. bei Brücken, so müssen besondere Seilkonstruktionen des Tragwerkes zur Anwendung gelangen.

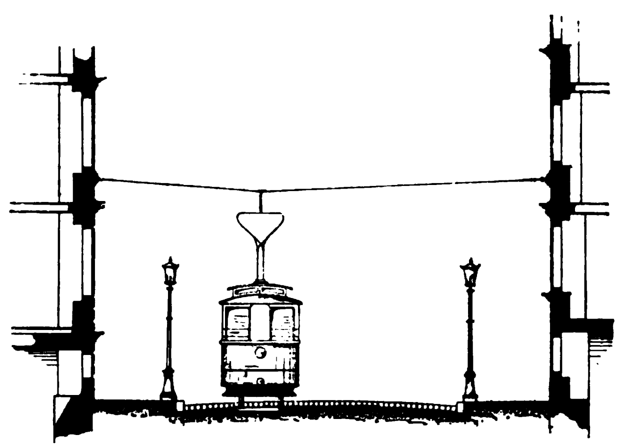


Fig. 117.

Treten bei ein- oder zweigleisigen Strecken die Gleise dicht an die eine oder an beide Seiten des Bürgersteiges heran, so können Maste mit Auslegerarmen zur Anwendung gelangen.

Dies ist jedoch im Allgemeinen nur so lange zulässig, als die Entfernung der Gleisachse von der Mastmitte 2,50 *m* nicht übersteigt, in besonderen Fällen kann jedoch dieses Mass überschritten werden.

Wenn es möglich ist, die Aufhängungsstützpunkte für das Hänge- und Spannwerk an vorhandenen Mauerwerken anzubringen, so hat diese Befestigungsart ausser der Billigkeit der Anlage den grossen Vorteil einer absolut festen Lage. Natürlich ist vorauszusetzen, dass die Mauern geeignet sind, eine Zugspannung von 150—500 *kg* ohne Schaden auszuhalten, was nicht immer der Fall ist. Fig. 116 und 117 zeigen Anordnungen mittels Wandhakenbefestigung.

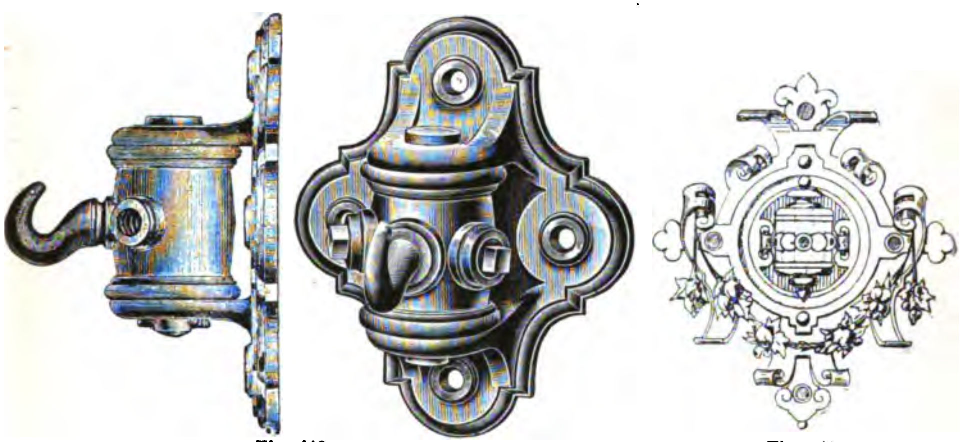


Fig. 118. Fig. 119.

In diesem Ausführungsfalle wird man mittels geeigneter Isolatoren, welche durch Rosetten verziert werden können, an die feste Wand gehen, um die Quer- und Spanndrähte aufzuhängen. Bei den durch Fig. 118 und 119 dargestellten Formen befindet sich die Isolation an der reichdekorierten Hausrosette. Die Befestigung in der Wand geschieht in der üblichen Weise, und zwar, wenn die Wand aus Holz ist, mittels Holzschrauben; in Ziegel oder Stein, mittels einzugipsender Steinschrauben. Eine besonders gute Wandbefestigung ist die durch die Patentkeilverschraubung bekannt gewordene.

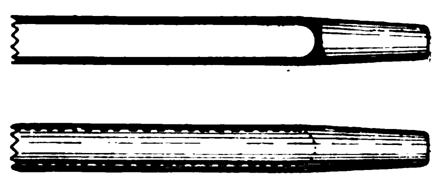


Fig. 120.

Es wird hierbei mit einem gezahnten Schlag- oder Steinbohrer, wie ihn Fig. 120 darstellt, ein Loch so tief in das Mauerwerk geschlagen, dass die Keilverschraubung bis zum Seckskantbund in die Mauer eingeschoben werden kann. Durch vorsichtige Handhabung ist es ermöglicht, den am Mauerwerk befindlichen Cement- oder

Kalkputz bis auf ein rundes Loch von ca. 25—30 *mm* Durchmesser vollständig tadellos zu erhalten. In Holz wird mit einem Centrum- oder Schneckenbohrer ein entsprechendes Loch gleich dem Durchmesser der Verschraubung gebohrt. Nachdem die Verschraubung, dargestellt durch Fig. 121, in das cylindrische oder nach innen etwas konisch erweiterte Loch eingesetzt ist, wird der Sechskant so lange mit der Hand oder mit dem Maulschlüssel nach rechts herumgedreht, bis derselbe festsitzt. Dadurch, dass die konische Mutter die vier Seitenteile nach aussen drückt, kann ein der Festigkeit entsprechender Druck auf die Wandungen des Loches ausgeübt werden, sodass selbst bei cylindrischer Fläche ein Ausreissen der Keilverschraubung unmöglich wird. Sofort nach Befestigung in der geschilderten Weise

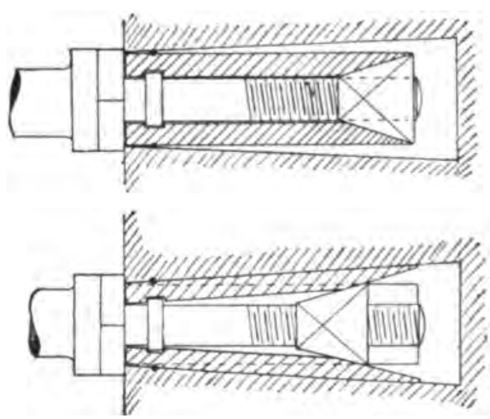


Fig. 121.

kann der Querdraht für die elektrische Leitungsanlage gespannt werden, da kein Cement, Gips u. s. w. für die Befestigung erforderlich ist und somit nicht auf das Trocknen desselben gewartet zu werden braucht.

Ein einigermassen geübter Arbeiter muss unter den schwierigsten Verhältnissen in höchstens 5 Minuten einen derartigen Befestigungshaken für eine Hausrosette oder einen Hausisolator einsetzen können, und besteht hierin ein grosser Vorteil gegen das Einsetzen unter Verwendung von Cement, Gips u. s. w. Ein weiterer Vorteil liegt auch darin, dass die Isolatorstütze mit Patent-Keilverschraubung bei Änderung der Aufhängungsstelle leicht durch Zurückdrehen entfernt und anderweitig benutzt werden kann, ohne dass die Mauer u. s. w. beschädigt wird. Es dürfte in der Regel genügen, das zurückbleibende Loch mit einem Korken oder Holzpflock zu dichten.

Eine ebenfalls einfache und gute Befestigung von Mauerschrauben stellt der Böddinghaus'sche Spiraldübel dar, welchen Fig. 122 zeigt.

Hier wird um den Gewindegang der Mauerschraube ein verzinkter Eisendraht gewickelt und in entgegengesetzter Windung noch-

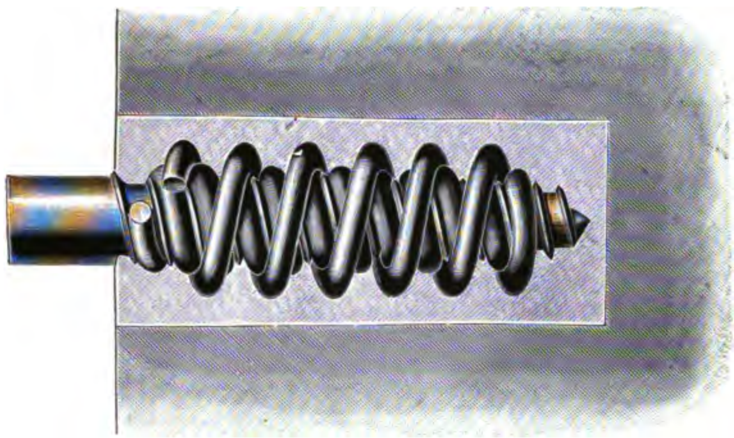


Fig. 122.

mals zurückgewickelt. Die so auf einer geeigneten Drehbank hergestellte Drahtmutter wird mitsamt der Schraube in das mit Gips oder Cement frisch ausgefüllte Mauerloch gedrückt und verbleibt bis zum Erstarren der Bindemasse darin. Alsdann kann die Schraube beliebig heraus- und hineingedreht werden, während der spiralige Draht ein metallisches Muttergewinde in der Mauer bildet.



Fig. 123.

Ist die Mörtel- oder Verputzschicht bei Wänden besonders dick, sodass der Dübel in das eigentliche Mauerwerk nur wenig eindringt, so empfiehlt es sich, das Dübelloch nach dem Innern der Wand zu konisch zu erweitern, indem man mittels des Kronenbohrers in der in Fig. 123 dargestellten Weise zwei schräg gehende Löcher bohrt, den zwischen beiden Löchern stehen gebliebenen Kegel mit dem Bohrer entfernt und, nachdem das Loch gereinigt und mit Wasser ausgespritzt ist, den Dübel eingipst. Ein derartig eingegipster Dübel haftet erheblich besser, als bei der sonst üblichen Art des Eingipsens. Das Eingipsen selbst wird erleichtert, wenn man dem Gips einen

geringen Zusatz von getrockneten und zu Pulver geriebenen Malvenblüten beimengt. Dieser Zusatz bewirkt, dass der Gips, welcher

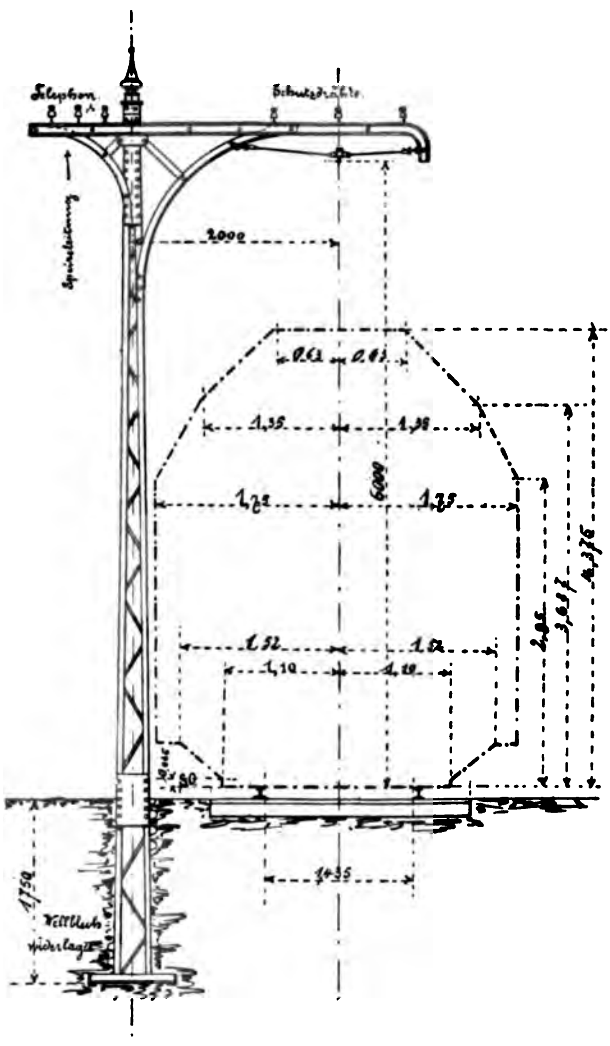


Fig. 124.

sonst sofort trocknet, erst nach etwa $^1/_2$ Stunde anfängt zu erhärten, sodass es möglich ist, gleich grössere Mengen von Gips zum Gebrauche fertig anzumengen. Der auf diese Weise bereitete Mörtel

besitzt eine grössere Festigkeit als ohne Beimengung, und ist wegen seiner hellgrauen Farbe auch weniger auffallend als gewöhnlicher Gips.

Für die Feststellung der Höhe der Hakenmitte über Schienenoberkante dient ebenfalls die Formel:

$$L = h + \frac{a}{10} + 0{,}5\ m$$

worin die Buchstaben den vorher angegebenen Werten entsprechen.

Ein Übelstand jeder einfachen Hausbefestigung besteht darin, dass die Vibrationen des Fahrdrahtes sich auf die Wand mitunter in unangenehmer Weise übertragen. Hiergegen sind, wenn die Hausrosette nicht selbst eine dämpfende Zwischenlage besitzt, wie, das meistens bei Wohnhäusern der Fall ist, schalldämpfende Konstruktionen im Querdraht in Anwendung gekommen, welche weiter hinten beschrieben werden.

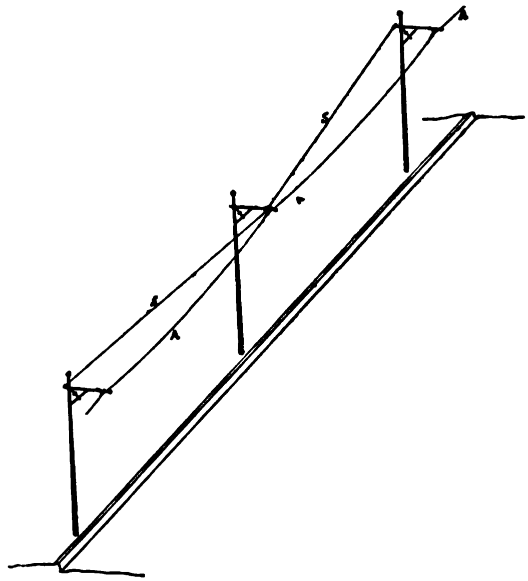


Fig. 125.

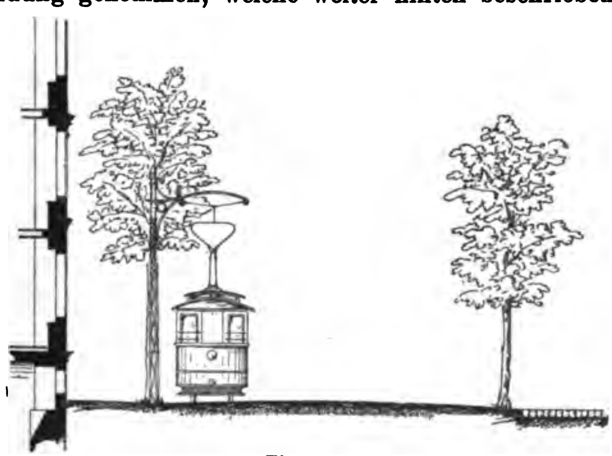


Fig. 126.

Gestattet die Führung des Gleises eine Aufstellung des Mastes dicht neben demselben, sodass der Mast das Normalladeprofil der

betreffenden Bahnanlage berühren kann, wie dies in Fig. 124 dargestellt ist, so wendet man mit Vorteil sogenannte Ausleger an. Es ist bei derartigen Anordnungen ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, dass durch etwa entstehende Zugkräfte in Richtung des Fahrdrahtes eine Tordierung des Auslegermastes vermieden wird,

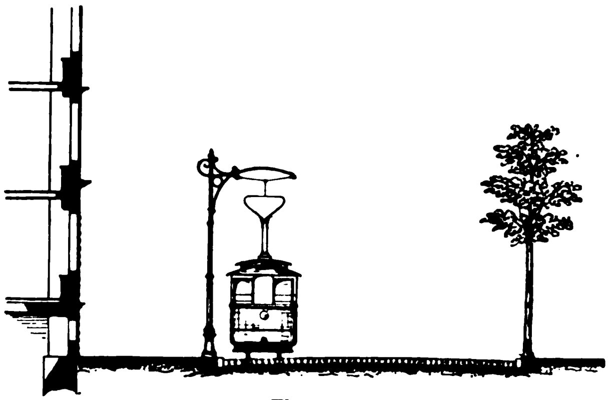


Fig. 127.

was durch Verankerungen des äussersten Auslegerpunktes am nächstfolgenden Maste geschieht. Vergl. Fig. 125; A = Fahrdraht, S = Spanndraht.

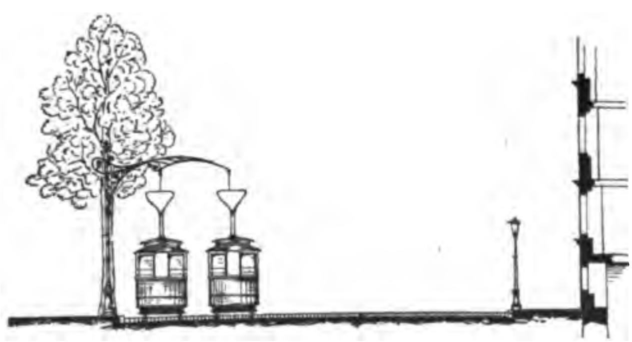


Fig. 128.

Die Fig. 126—128 zeigen die gebräuchlichen Aufstellungsarten in der Baumreihe oder an der Bordsteinkante, als einfacher und doppelter Ausleger, für Bügel und für Rollenkontakt.

Gestattet die Bahntrace die Aufstellung eines Mastes zwischen zwei Gleisen, so findet auch der Doppelauslegermast Verwendung.

Die Fig. 129 und 130 zeigen denselben ebenfalls schematisch. Es ist ohne weiteres verständlich, dass gerade diese Aufstellungsart die beste Gelegenheit bietet, architektonische Formen und elektrische Strassenbeleuchtung mit der Bahnanlage zu verbinden.

Diese Doppelauslegermasten können mitten in die Strasse gesetzt werden, da dieselben stets durch ein Doppelgleis bedingt sind, mithin also die Strasse genügend breit sein muss, um für weiteres Fuhrwerk noch Platz zu geben. Durch diese Mastenreihe wird die Strasse in zwei Längshälften geteilt, was für die Regelung selbst eines intensiven Fuhrwerksverkehrs keineswegs hinderlich ist. Auf wenig belebten Strassen, z. B. Landstrassen, bedarf es erst keiner Erwägung, wenn man hierbei in Betracht zieht, dass durch diese höchst sympathische Konstruktion das oberirdische Drahtnetz auf das denkbar Geringste vermindert wird. Den Befürchtungen, dass die Masten in der Strassenmitte durch den anderen Verkehr gefährdet werden, begegnet

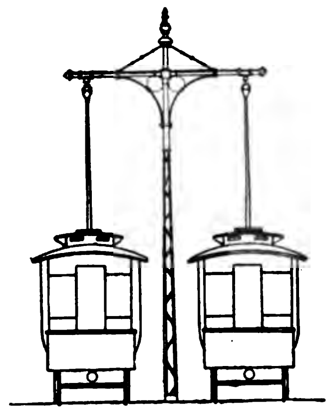


Fig. 129.

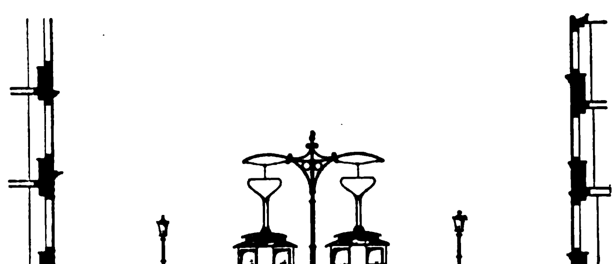


Fig. 130.

man durch Anlage von Steinpodesten, die zum Teil für Haltestellen benutzt werden.

Man ist mit Rücksicht auf ein ruhiges Rollen und Gleiten des Wagenkontaktes bemüht, den Fahrdraht in vertikaler Richtung möglichst elastisch aufzuhängen. Bei Querdrähten ist diese Elastizität von vornherein durch die Konstruktion selbst gegeben, bei Auslegern erstrebt man diesen Zustand durch besondere Konstruktionen, von

denen in Fig. 131 und 132 einige recht charakteristische Formen dargestellt sind. Bei Fig. 131 wird in einen aus eisernen Rohren zusammengesteckten Ausleger ein doppeltes Bogenstück eingesetzt, innerhalb welches ein kurzer Querdraht eingespannt ist. Bei diesen Anordnungen können die für gewöhnliche Querdrähte gebrauchten



Fig. 131.

Hänger eingebaut werden. Die Detailkonstruktionen zeigen die eigentümliche Befestigung des Auslegers an einem Holzmast. In Fig. 133

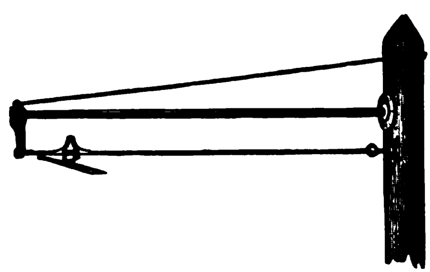


Fig. 132.

ist gezeigt, wie man der Aufhängung wohl eine Elastizität nach oben, nicht aber nach unten geben kann. Der im Punkte A drehbare Ausleger wird durch den Wagenkontakt leicht angehoben, während das Gewicht des Fahrdrahtes denselben wieder in seine horizontale Lage zurückbringt. Fig. 134 zeigt eine Hängekonstruktion für gewöhnliche starre Ausleger aus Winkel- oder U-Eisen, an welche

die Hänger flach angeschraubt werden, während Fig. 135 denselben Hänger, am Rohrausleger zu befestigen, darstellt.

Die in den Fig. 126, 127, 128, 130 dargestellten geschwungenen Ausleger zeigen die architektonische Ausgestaltung der elastischen Ausleger-Aufhängungen.

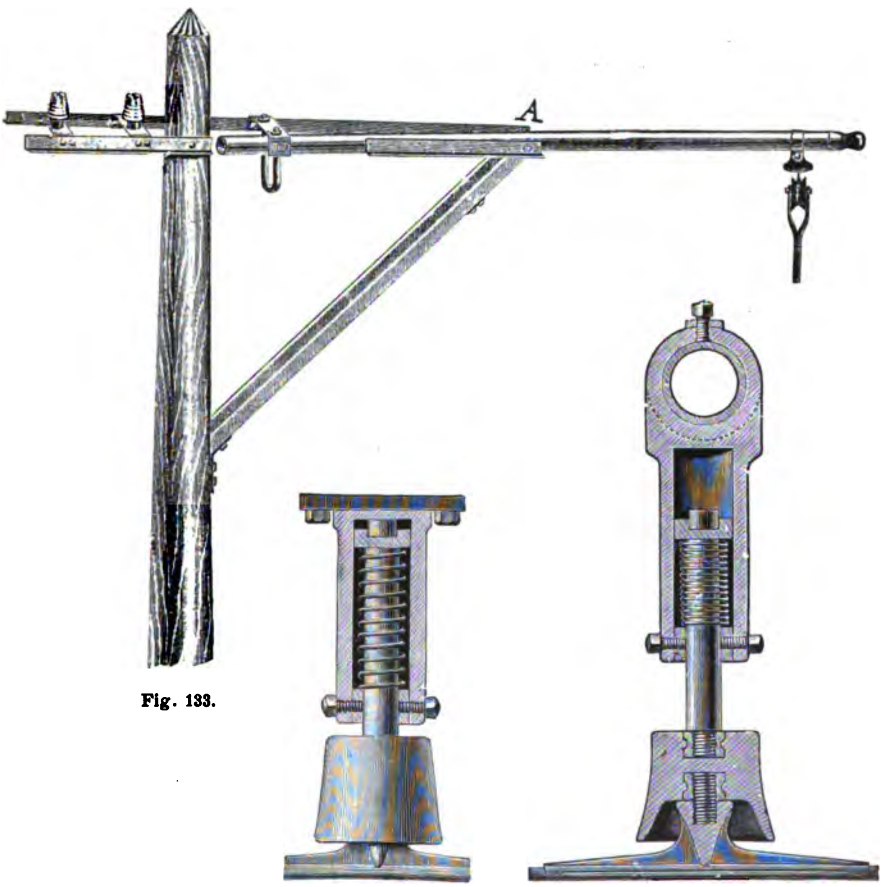


Fig. 133.

Fig. 134.

Fig. 135.

Brücken, auf denen Masten aus irgend welchen Gründen gar nicht oder nur in sehr grossen Abständen stehen dürfen, hat man mit Seilaufhängungen überspannt und erst an diesen die Fahrdrähte aufgehängt. Man ist hier bis zu 120 *m* Mastenabstand gelangt.

Besondere Konstruktionen des Tragwerkes haben sich bei Klappbrücken, auf denen Strassenbahn-Oberleitung montiert werden musste,

nötig gemacht. Die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin hat bei der Danziger Strassenbahn folgende Einrichtung getroffen, die durch Fig. 136 zeichnerisch dargestellt ist.

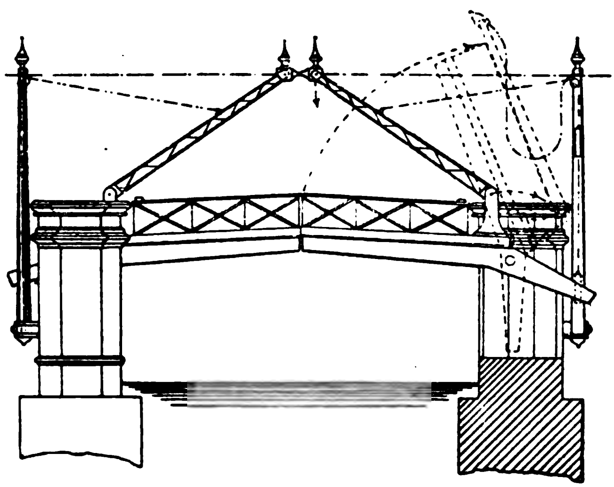


Fig. 136.

Die Fahrdrähte werden bei geschlossener Brücke von schrägstehenden Balken gespannt gehalten, deren Last durch Gewichte in

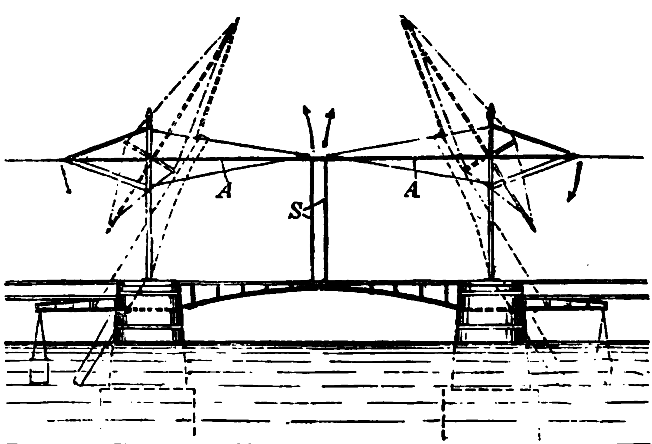


Fig. 137.

den nächststehenden Rohrmasten ausgeglichen ist. Beim Aufziehen legen sich die Brückengeländer gegen die Balken und nehmen sie mit. Die durchhängende Fahrleitung wird dabei durch einen selbstthätigen Ausschalter stromlos gemacht, während vermöge eines durch

den Fluss gelegten Kabels der übrige Teil der Leitung gespeist wird. Eine ähnliche Verbindung ist für die als Leiter dienenden Fahrschienen vorgesehen.

Eine dieser ähnlichen Konstruktion hat die Union Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin durchgearbeitet.

In Fig. 137 sind die Fahrdrähte aus starren Trägern A gebildet, die sich mit der aufklappenden Brücke in den Mastenpaaren bewegen können, weil sie durch die Gelenkstangen S mit der Klappbrücke verbunden sind.

c) Verankerung des Fahrdrahtes.

Um die Lage des Fahrdrahtes jederzeit an der ursprünglich beabsichtigten Stelle festzuhalten, genügt es nicht, den Fahrdraht

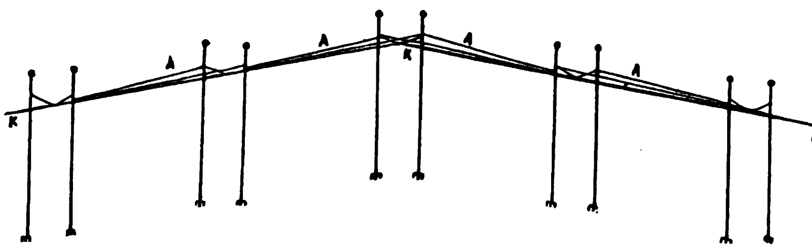


Fig. 138.

am Anfang und Ende der Strecke zu verankern, vielmehr muss in bestimmten Streckenintervallen der Fahrdraht derartig mit den Masten oder Hausrosetten in Verbindung gebracht werden, dass bei allen auftretenden Beanspruchungen infolge von Wärmeausdehnungen oder Reibungsmitnahme zwischen Fahrdraht und Wagenkontakt jederzeit Mittel zur Verfügung stehen, den Draht festzuhalten und auch streckenweise nachzuspannen.

Die Verankerung des Fahrdrahtes ist überall da nötig, wo ein Wechsel in der Zugrichtung des gespannten Drahtes eintritt, und sie ist überall da erwünscht, wo durch Zufälligkeiten grössere Beanspruchungen in dem Draht selbst und in den Aufhängungskonstruktionen entstehen könnten, als es der normalen Beanspruchung und Festigkeit der Materialien und Konstruktionen entspricht.

Die diesbezüglichen Forderungen lassen sich kurz in Folgendem zusammenfassen:

Eine Verankerung des Fahrdrahtes ist ausser an den Strecken- und Weichen-Endpunkten überall da anzubringen, wo ein bedeutender Zug in der Richtung des Drahtes selbst auftritt, d. h. also bei sämtlichen Gefällen, am Gefällswechselpunkt angreifend und am nächsten Aufhängungspunkt endigend (Fig. 138). Eine Verankerung in gerader

und horizontaler Strecke nach beiden Richtungen ist ausserdem bei langen Strecken wünschenswert (Fig. 139).

Während die erste Forderung dadurch gerechtfertigt wird, dass bei regelrechtem Betriebe die ständige Horizontalkomponente des Drahtes zu gross ist, um die reine Klemmbefestigung des Hängers als genügend erachten zu können, kommt die zweite als wünschenswert ausgedrückte Forderung erst zur Geltung, wenn eine Betriebsstörung durch Reissen des Fahrdrahtes zu verzeichnen ist. In diesem Falle hört die Horizontalspannung gänzlich auf, und es müsste der Hänger bezw. die Klemmvorrichtung, welche beide nur für die Vertikalkomponente gebaut sind, den horizontalen Zug aufnehmen, wenn keine Verankerung vorhanden wäre. Die allgemeine Anordnung einer Verankerung auf gerader Strecke wird durch die Fig. 139 und 140 gezeigt. Diese Verankerung kann sowohl über drei Mastenpaare (Fig. 139), als auch über zwei Mastenpaare (Fig. 140) erfolgen. Die Ankerdrähte müssen stets so gespannt sein, dass sie einander aufheben und nicht den Fahrdraht beanspruchen.

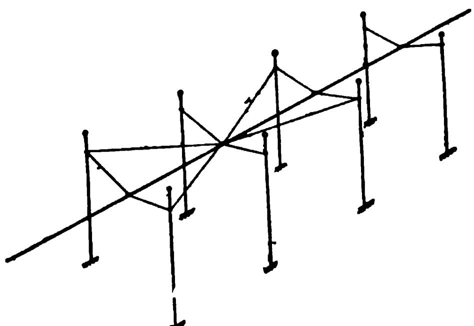


Fig. 139.

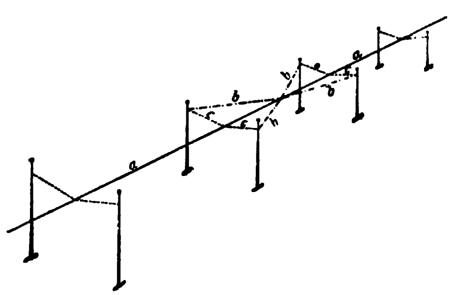


Fig. 140.

Als natürliche Verankerungspunkte stellen sich die scharfen Kurven dar, weil die auf den Mittelpunkt der Kurve zustrebende Kraftkomponente so stark auf die Befestigung im Fahrdrahtisolator drückt, dass auch ohne Festlöten oder Festschrauben des Fahrdrahtes bereits eine genügende Reibung zwischen Fahrdraht und Klemmbacke auftritt, welche eine Bewegung in der Richtung des Fahrdrahtes verhindert. Anderseits werden die Maste in den Kurven infolge dieser resultierenden Beanspruchung derartig kräftig gewählt, dass sie bereits dem stärksten auftretenden Zug widerstehen. Dementsprechend ist es nötig, die Kurvenisolatoren für die auftretende spezifische, seitliche Beanspruchung zu konstruieren.

Es ist üblich, das Festhalten des Fahrdrahtes durch Klemmbacken an sämtlichen Fahrdrahtisolatoren oder durch Verlöten des Fahrdrahtes mit allen entsprechenden Befestigungsklemmen zu bewirken. Diese Art der Fahrdrahtaufhängung widerspricht indess den Grundsätzen aller statischen Bauwerke. Jedes elastische Bauwerk soll so aufgestellt sein, dass an einer Stelle keine zeitweise höhere Belastung auftreten kann als an anderer Stelle desselben Bauwerkes, sondern wenn zeitweise unvermeidliche, abnormale Beanspruchungen, wie hier, unumgänglich sind, so soll entsprechende Verteilung der Kräfte bis zu den Fixpunkten erfolgen. Die an einfachen Querdrähten befestigten Isolatoren können nicht als Fixpunkte, wie etwa Maste und Hausrosetten, angesehen werden, da sie infolge der Querdrahtdurchhänge nach allen Richtungen nachgeben können. Sie entbehren also solange jede Eigenschaft einer Verankerung, bis man die Querdrähte derartig straff zieht, dass sie für gewöhnlich mit demselben spezifischen Zug am Draht und der Biegung am Mast belastet sind, die sonst im Falle der Gefahr auftreten. Dies erfordert aber durchweg stärkere Maste und höhere Anlagekosten und lässt die vertikale Elastizität des Fahrdrahtes gänzlich vermissen. Geringere Querdrahtspannung entspricht grösserem Durchhang des Querdrahtes und somit grösserer Nachgiebigkeit bei Fahrdrahtdefekten. Bedenkt man hierbei, dass die Vertikalbeanspruchung durch den Fahrdraht und Isolator bei entsprechendem Durchhang des Querdrahtes etwa 50 *kg* bei einfachem Fahrdraht ist, und die Horizontalkraft den vier- bis fünffachen Betrag ausmacht, so begreift man, dass ein einfacher Querdraht, der zum Tragen dient, nicht gleichzeitig zum Verankern benutzt werden kann.

Für den Fahrdrahtisolator ist die Anordnung als konstruktiv richtig zu bezeichnen, welche zwar den Fahrdraht in vertikaler Richtung fest fasst, welche aber in der Längsrichtung jede freie Bewegung zulässt. Es sind von diesem Standpunkt ausgehend die Klemmbacken und die Verlötungen zu verwerfen. Die Möglichkeit, Fahrdrahtaufhängungen genannter Ausführung zu benutzen, ist mehrfach durch die Ausführung bewiesen. Es kann einmal erfolgen durch Unterlegebleche, wie Fig. 170 darstellt, oder durch Klemmbacken, welche z. B. den 8förmig profilierten Fahrdraht in der oberen Hälfte mit geringem Zwischenraum zangenartig umfassen (siehe Fig. 103).

Bei dieser Aufhängungsart ist es nun unbedingt nötig, den Fahrdraht alle 300—500 *m* durch solche Aufhängungskonstruktionen fest zu verankern, welche ein Verschieben des Fahrdrahtes in der Längsrichtung unmöglich machen. Diese wieder müssen derartig mit den Fixpunkten des Tragwerkes, als welche starke Masten oder Haus-

rosetten gelten, befestigt sein, dass beim Aufhören der Horizontalspannung des Fahrdrahtes der Fahrdraht nicht beliebig weit nachgeben kann.

Diese durch möglichst langgestreckte Verankerungsdrähte in der Luft geschaffenen Fixpunkte über Mitte Gleis können zugleich dazu benutzt werden, Nachspannvorrichtungen für die verankerten Streckenteile daran vorzusehen und Streckenisolatoren und Kabelzuführungsstellen damit zu verbinden. Es ergiebt dies alle 300—500 *m*, je nach Umständen, eine allerdings etwas schwerfällig aussehende Konstruktion, welche indess durch die vielen, gleichzeitig zu erfüllenden, obengenannten Bedingungen voll gerechtfertigt ist. Um so einfacher und zierlicher können dementsprechend die übrigen Fahrdrahthängeisolatoren ausgebildet werden.

Verankerungen des Fahrdrahtes in seiner Längsrichtung soll man nicht durch Klemmstücke bewirken, sondern man soll zur Verankerung solche Stellen wählen, an denen der Draht entweder durch Weichen, Kreuzungen, Verbindungsmuffen, Streckenisolatoren absolut feste Endverbindung aufweist, oder man soll Konstruktionsteile einfügen, welche durch Endösen, Verschlingungen u. s. w. eine gleichwertige Befestigung des in seiner Längsrichtung zu verankernden Fahrdrahtes bewirken.

d) Kurvenverspannung des Fahrdrahtes.

Wenn der Fahrdraht um Kurven geführt werden muss, so kann er naturgemäss nicht als konstante Kurve, wie das Gleis gelegt werden, sondern nur als Seilpolygon. Der Fahrkontakt des Wagens muss daher ein seitliches Abweichen des Fahrdrahtes von der Gleismittellinie zulassen. Der Bügelkontakt gestattet eine grössere Abweichung als der steife Rollenarm, während der gelenkige Rollenarm mit der Dickinson-Rolle die grösste Abweichung zulässt. Da sowohl die Breite des Bügels, als auch die Konstruktion des Rollenarmes und Gelenkes in den verschiedenen Ausführungen anders ausfällt, kann man dementsprechende Polygone zulassen. Eine einfache Formel zur Berechnung der Sehne des Seilpolygons ist für einen Stromabnehmerbügel von mindestens 1,2 *m* Breite, bei welchem ein seitliches Ausweichen des Drahtes von 0,5 *m* nach jeder Seite zulässig sein soll,

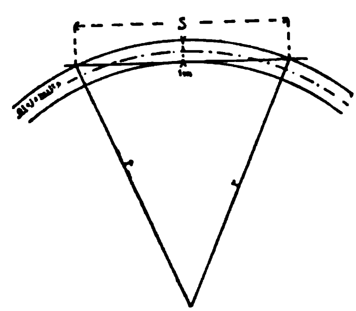


Fig. 141.

$$S = 2\sqrt{2\,r},$$

worin S die Länge der Sehne in Metern und r den Radius der äusseren Kurve in Metern bedeutet. (Fig. 141.)

Radius der Kurve in m	Sehnenlänge in m	Radius der Kurve in m	Sehnenlänge in m
12	9,8	60	21,9
15	11,0	80	25,3
20	12,7	100	28,3
25	14,2	120	31,0
30	15,5	150	34,7
40	17,9	180	37,9
50	20,0	200	40,0

Wird r auf die Gleismitte bezogen, so wird $S = 2\sqrt{r}$.

Da in der Geraden die grösste Entfernung zweier Aufhängungspunkte 40 m beträgt, ist in vorstehender Tabelle die Sehnenlänge nur bis zu 40 m berechnet, d. h. mit anderen Worten, bei Anwendung des Bügels ist es nur nötig, Kurven unter 200 m Radius mit Abspannung zu versehen.

Nimmt man die grösste Abweichung von der Mittellinie nur zu 45 cm an, so kann man die entsprechenden Seitenlängen des Polygones, d. h. die Spannweiten, durch Rechnung erhalten nach der Formel:

$$S = 4 \cdot \sqrt{r \cdot s} = 4\sqrt{r \cdot 0{,}45}$$

worin S die Spannweite,
r den Gleisachsenradius
und s die Abweichung des Bügels von der Gleisachse nach jeder Seite $= 0{,}45$ m bedeutet.

Wenn man aus dem Lageplan den Centrumwinkel φ der Kurve bestimmt, kann man sich die Anzahl n der Polygonseiten für Bügelkontakt berechnen nach:

$$n \geqq \frac{\varphi}{229}\sqrt{\frac{r}{s}}$$

Die nachstehende Tabelle giebt für einen Bügel, dessen seitliche Ausladung von der Gleismitte mit Sicherheit 0,45 m beträgt, die Zahl der Polygonseiten und die Länge jeder derselben für Centriwinkel von 30° bis 165° und für Radien von 10 bis 120 m an.

Centr.-∢ φ in °	r = 10		r = 20		r = 30		r = 40		r = 50		r = 60	
	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s
30	1	5,2	1	10,5	2	7,9	2	10,5	2	13,0	2	15,7
45	1	7,8	2	7,9	2	11,8	2	15,7	3	13,1	3	15,7
60	2	5,2	2	10,5	3	10,5	3	14,0	3	17,4	4	15,7
75	2	6,5	2	13,1	3	13,1	4	13,1	4	16,3	4	19,7
90	2	7,8	3	10,5	4	11,8	4	15,7	5	15,7	5	18,8
105	3	6,1	4	9,2	4	13,8	5	14,7	5	18,4	6	18,3
120	3	7,0	4	10,5	5	12,5	5	16,8	6	17,5	7	17,9
135	3	7,8	4	11,8	5	14,1	6	15,7	7	16,9	7	20,2
150	4	6,6	5	10,5	6	13,1	7	15,0	7	18,7	8	19,6
165	4	7,2	6	9,6	6	14,4	7	16,5	8	20,6	9	19,2

Centr.-∢ φ in °	r = 70		r = 80		r = 90		r = 100		r = 110		r = 120	
	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s
30	2	18,3	2	20,9	2	23,5	2	26,1	3	19,1	3	20,9
45	3	18,3	3	20,9	3	23,5	3	26,1	4	21,5	4	23,5
60	4	18,3	4	20,9	4	23,5	4	26,1	5	23,0	5	25,1
75	5	18,3	5	20,9	5	23,5	5	26,1	6	23,9	6	26,1
90	5	22,0	6	20,9	6	23,5	6	26,1	7	24,6	7	26,9
105	6	21,3	7	20,9	7	23,5	7	26,1	8	25,2	8	27,5
120	7	20,9	7	23,9	8	23,5	8	26,1	9	25,5	9	27,9
135	8	20,6	8	23,6	9	23,5	9	26,1	10	25,8	10	28,2
150	9	20,4	9	23,3	10	23,5	10	26,1	11	26,1	11	28,5
165	9	22,4	10	23,0	11	23,5	11	26,1	12	26,3	12	28,8

Für eine nebenstehend gezeichnete Kurve von 15 *m* Radius des inneren Gleises (Fig. 142) würde sich ungefähr die eingezeichnete Maststellung bezw. Querdrahtlage ergeben.

Dabei ist es zulässig, dass zwischen zwei Tragquerdrähten a ein Abfangdraht b angewandt wird, für den Fall, dass die Länge der Spannweite zwischen den beiden Tragpunkten a 40 *m* nicht übersteigt.

Anders gestaltet sich das Seilpolygon bei dem Rollenkontakt. Während bei dem Bügel der Peripheriewinkel vollständig ohne Einfluss auf die sichere Führung des Kontaktes ist, ist es dieser bei der Rolle in bedeutendem Masse. Die Rolle bedarf wegen ihrer Flanschen eines verhältnismässig stumpfen Winkels, um ohne Schlag von der einen Sehne zur anderen hinüberzugleiten. Es kommt hier weniger darauf an, dass der Fahrdraht eine günstige Lage zum

Gleis hat, vielmehr darauf, dass die Peripheriewinkel möglichst klein sind, wodurch allerdings sehr viel Abspannpunkte entstehen.

Bei Verwendung einer Rolle von derselben Ausladung müssen die für Bügel berechneten Polygonseitenzahlen mit 1,3 multipliziert werden.

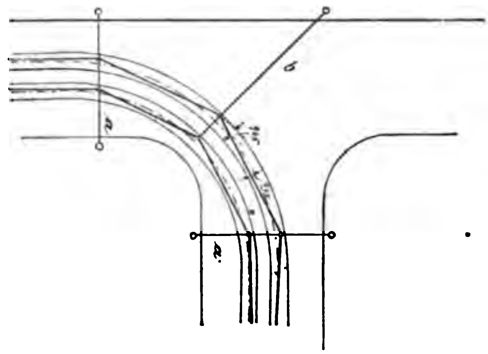


Fig. 142.

Bei Weichen gilt bezüglich der Abweichung des Fahrdrahtes von der Gleisachse das Gleiche.

Bei einer flachen Kurve empfiehlt es sich, für jeden Peripheriewinkel besondere Spanndrähte S einzufügen. (Fig. 143.) In scharfen Kurven würde durch direkte Spanner die Anzahl der Masten oder Mauerhaken vermehrt werden müssen, ausserdem würde das Drahtgewirr in der Luft nicht gerade das gute Aussehen günstig beein-

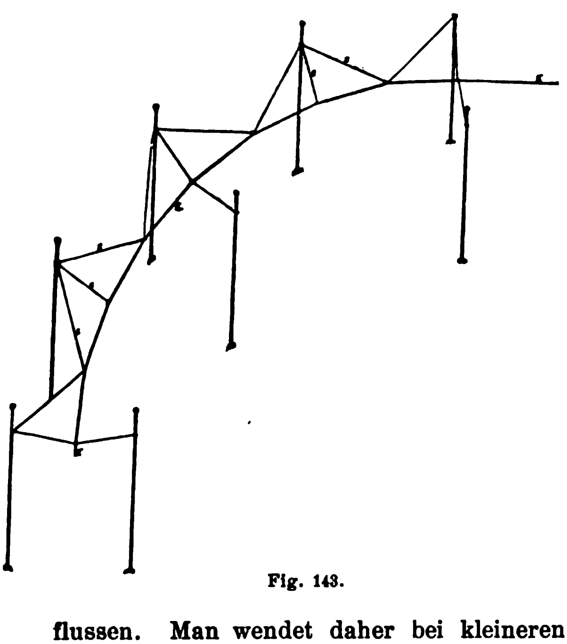


Fig. 143.

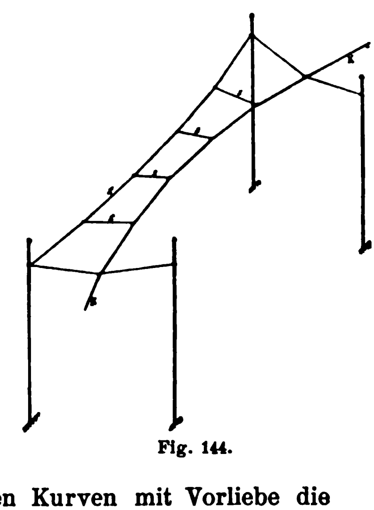


Fig. 144.

flussen. Man wendet daher bei kleineren Kurven mit Vorliebe die sogenannte Gegenkurve an. (Fig. 144.) Man erreicht hierbei ohne weiteres, was man bei direkten Spanndrähten nur durch doppelte

Drähte, bezw. einen von Mast zu Mast durchgehenden Abspanndraht für jede Stelle erreichen kann, nämlich die Angriffsrichtung des Spanndrahtes senkrecht bezw. nahezu senkrecht zur Tangente des Kurvenkreises legen zu können. Eine Kurve kann nur dann gut gespannt bleiben, wenn die Klemmbacken für die Spanndrähte sich seitlich nicht verschieben können, was aber stets dann eintreten

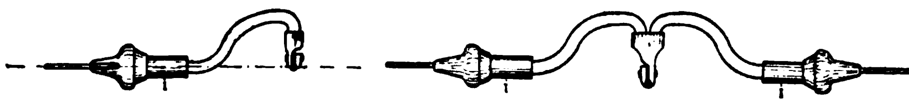


Fig. 145.

wird, wenn der Spanndraht die Klemmbacken in spitzem Winkel auf Verschiebung in Richtung des Fahrdrahtes beansprucht. Daher bleibt die Anwendung eines einzelnen schiefen Spanndrahtes verwerflich.

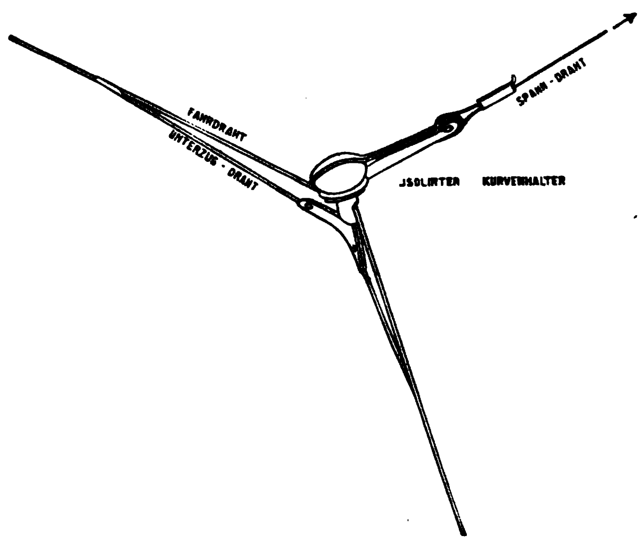


Fig. 146.

Die zur Kurvenspannung eingeschalteten Seilpolygone sollen im allgemeinen nicht als tragende Teile angesehen werden, ebensowenig die Spanndrähte. Die Träger des Fahrdrahtes, als welche die Querdrähte bezw. Ausleger anzusehen sind, sind in den Kurven, entsprechend der mehr zu tragenden Last, zu vermehren. Je nach der Wölbung des Bügelkontaktes ist die Spannung an sämtlichen Stellen des Fahrdrahtes genügend gross zu halten, da ein schlaff hängender Draht sonst durch die Wölbung seitlich abgedrückt wird.

Bei der Fahrdrahtführung für die Rolle muss die geradlinige Verbindung zwischen Fahrdraht und Kurvenspanndraht durch einen nach oben gekröpften Bügel unterbrochen werden, damit der Rollenflansch ohne anzustossen am Querdraht vorbeirollen kann (siehe Fig. 145). Der gewölbte Bügel kann diese Unterbrechung entbehren. Um indess allen Zufälligkeiten, die aus schlechter Gleislage, seitlichen Wagenschwankungen, Verbiegungen des Bügels und dergl. in die Erscheinung treten könnten, vorzubeugen, hat Siemens & Halske den Fahrdraht nahezu in die Verlängerung des Spanndrahtes gelegt und einen besonderen Kurvenbeidraht eingeschaltet (Fig. 146) welcher den Bügel um so viel herunterdrückt, dass er niemals an den Querdraht anstossen kann. Das Kurvenstück, welches hier eingeschaltet werden muss, hat den Nachteil, dass es dem Fahrkontakt einen vertikalen nach unten gerichteten Stoss erteilt, wodurch

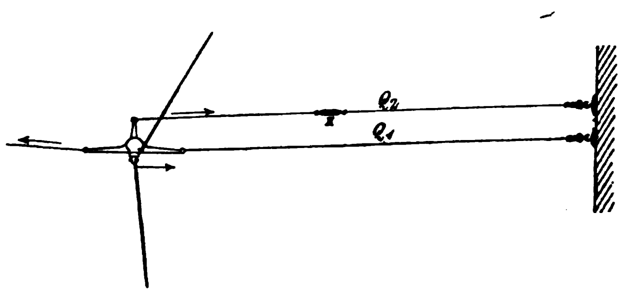


Fig. 147.

bei schneller Fahrt ein leichtes Abdrücken vom Fahrdraht erfolgt und eine Funkenbildung unvermeidlich ist. Man hatte daher anfänglich einen Beidraht durch die ganzen Kurven gelegt. Hierdurch wird indes das Drahtnetz in der Luft vergrössert und die Durchführung einer guten Regulierung des Kurvendrahtes erschwert. Um nun die Sache etwas zu vereinfachen, ist unter Wahrung derselben Verhältnisse eine kinematische Umkehrung dahingehend erfolgt, dass der Seitendruck des Fahrdrahtes durch einen doppelten Querdraht aufgenommen wird. Es soll durch den zweiten Querdraht Q_2 (Fig. 147) der durch den Fahrdraht in der Kurve hervorgebrachte Seitenzug derartig abgefangen werden, dass das Fahrdrahtnetz in der Kurve stets die gleiche Spannung beibehält, und der Fahrdraht um so viel tiefer unter den Abspanndrähten zu liegen kommt, dass der breite, horizontal schwach gewölbte Fahrbügelkontakt den isolierten Abspanndraht niemals erreichen kann. Eine Variation dieser Anordnung liegt darin, dass man den Abspanndraht nicht in seiner ganzen Länge bis zum Abspannpunkt führt, sondern in Form eines Ab-

spanndreiecks, wie Fig. 148 zeigt, anordnet. Für diese Konstruktionen ist es erforderlich, den Fahrdrahtisolator nach oben zu verlängern, um für den zweiten Abspanndraht einen Angriffspunkt zu erhalten. Der Spanndraht Q_2 muss ausserdem mit einer Regulierschraube R

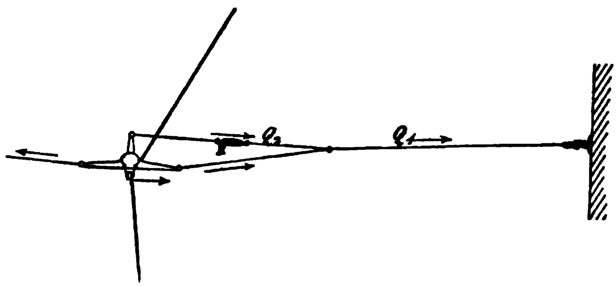


Fig. 148.

versehen sein, um Drahtspannungsdifferenzen bei der Montage und bei der Betriebsunterhaltung leicht unschädlich machen zu können. Schliesslich sei noch erwähnt, dass man fast den gleichen Effekt auch dann erzielt, wenn man die Seitenarme des Isolators zur Verhinderung des Kippmomentes genügend lang wählt.

e) Projektierung des Drahtnetzes.

Eine einfache Methode zur Projektierung eines oberirdischen Fahrdrahtnetzes besteht darin, dass man die Spannpunkte des Fahrdrahtes auf einem Strassensituationsplan im Massstab 1 : 100, welcher zum Zwecke der Projektierung auf ein Reissbrett gespannt ist, mit vertikal stehenden Stecknadeln bezeichnet und den Fahrdraht mit einem farbigen Zwirnsfaden mittels Perlen dazwischen spannt. Am besten hierzu eignen sich Stahlstecknadeln mit grossen Köpfen, um sie mit der Hand bequem in das Brett einstecken zu können. Den Vorteil dieser Methode gegenüber derjenigen mit Bleistift, Gummi und Reissschiene, wird der Ausübende sofort erkennen.

Auch in die Wirklichkeit übertragen, giebt diese Methode dem Monteur am schnellsten ein Bild von dem wahren Verhältnisse, welches er sich durch Schnur oder dünnen Draht auf der Strassenoberfläche herstellen kann, ehe er die zeichnerisch nicht so absolut genau feststellbaren Punkte vorzeichnet.

Fig. 149 zeigt diese Methode schematisch. M stellt die Masten (Stecknadeln, Reisszwecken), F den Fahrdraht (Zwirnfaden), V Verankerungsdrähte, Z Fahrdrahtisolatoren (Perlen) dar.

Man kann hierbei mit einem bedeutend geringeren Zeitaufwande und mit sofortigem besseren Erkennen der herrschenden Zug-

spannungsverhältnisse arbeiten. Wenn z. B. zwei Kurven einander entgegengesetzt liegen, oder wenn zwei Gleise in ein Gleis oder in drei Gleise übergehen, kann man mittels des durch den Zwirn markierten Fahrdrahtes die Verhältnisse überschauen und konstruieren, wie sie der Wirklichkeit am ehesten entsprechen. Die Richtung des Zugdrahtes, die günstigste Stellung des Spanners, die Bewegung des Fahrdrahtes bei ungleicher Längsspannung werden durch diese Methode dem Konstrukteur schon auf dem Reissbrett sichtbar. Selbst den Verhältnissen, welchen das Bügelsystem und das Rollensystem bei der Montierung des Tragwerkes Rechnung zu tragen hat, kann entsprochen werden. Der Bügel verlangt, wie bereits erwähnt, in den Kurven eine besonders hohe Straffheit des Fahrdrahtes, während bei der Rolle auf möglichst grosse Peripheriewinkel, d. h. auf sehr viel gleichmässige Abspannung gesehen werden muss. Hieraus folgt, dass die Abspannpunkte ihre durch die Konstruktion bestimmte Lage nicht verändern dürfen, was bei nicht ganz sachgemässer Beurteilung

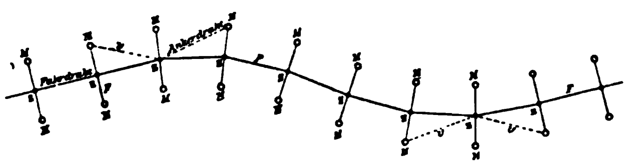


Fig. 149.

leicht eintreten kann, wenn die bei der Montage auftretenden, verschiedenen Drahtspannungen auf das in der Luft hängende Drahtnetz einwirken.

Diese Art der Projektierung macht sich besonders dann unerlässlich, wenn mehrere Fahrdrähte zusammentreffen oder auseinandergehen, und wenn man sich unregelmässig geformten Gleiskurven anpassen muss. Man fühlt es schneller als mit Reissschiene und Bleistift, wo am zweckmässigten der Kurven- oder Abspanndraht angreifen muss, wo sich am zweckmässigsten zwei Fahrdrähte überschneiden, wie sich am einfachsten eine Verankerung darstellen lässt, kurzum alle nur mit vieler Mühe durch Bleistift und Lineal herstellbaren Netze zeigen sich in natürlicher, verkleinerter Form und schliessen jede minderwertige Kurvenkonstruktion von vornherein aus.

f) Drahtfestigkeit.

Über die Eigenschaften des Fahrdraht- und Spanndrahtmaterials liegen die Ergebnisse von Zugproben und Biegeproben der königl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg vor, wonach sich die absolute Zugfestigkeit des hartgezogenen Kupfer-

drahtes um 41 *kg* für das Quadratmillimeter herum bewegt, während eine weichgelötete Stossverbindung des hartgezogenen Kupferdrahtes, die nach der Verlötung nochmals mit dem ganzen Draht durch das Zieheisen gezogen worden ist, nur noch eine Festigkeit von 33 *kg* für das Quadratmillimeter besitzt. Der in No. 2 beifolgender Tabelle niedergelegte Zugversuch geschah mit einem Drahtstück, an welches bei der Montage ein Abzweigdraht mit dem Lötkolben angelötet und zum Versuch wieder abgelötet wurde. Die Festigkeit ging hier sogar auf 26 *kg* für das Quadratmillimeter herunter. Hieraus folgt, dass alle Verbindungen, welche Lötungen vorsehen, minderwertig sind. Der für die Probe verwandte Stahldraht war von verschiedenen Drahtziehereien bezogen und es zeigt sich, dass man hierbei mit sehr verschiedenen Festigkeiten zu rechnen hat.

Die Materialien der Versuche 4 bis 8; 9 bis 11 und 12 bis 15 gehören zu einem Fabrikat. (Siehe Tabelle.) Jedenfalls empfiehlt es sich, den Stahldraht nur von sehr guten Drahtziehereien, welche durch ihre besondere Fabrikationsweise sichere Gewähr für ein gutes Material bieten, zu beziehen.

Gleichzeitig mit diesen Versuchen wurden von einer grossen Firma Zerreissversuche angestellt. Des leichteren Einspannens wegen wurden hier die Kupferdrahtenden angewärmt und gestaucht. Die erzielte Bruchfestigkeit war nur etwa 25,5 *kg/qmm*, dabei die Dehnung und die Kontraktion überraschend hoch. Die Fabrikationsfirma schrieb dieses unerwartete Resultat der vorgenommenen Erwärmung zu und veranlasste eine Prüfung durch die Kaiserliche Oberpostdirektion in Köln (Rhein), welche 41 bis 42*kg/qmm* Zugfestigkeit ergab. Dieses letzte günstigere Ergebnis ist für ganz einwandfrei zu erachten und stimmt mit Obigem überein.

g) Statik des Tragwerks.

Der Fahrdraht.

Derselbe bildet von Aufhängepunkt zu Aufhängepunkt eine Kettenlinie, bezw. eine angenäherte Parabel. Für die Belastung in dieser Seilkurve ist ausser dem Eigengewicht des Fahrdrahtes das Gewicht von Schnee-, Reif- und Eisbildungen und die Wirkungen des Winddruckes in Betracht zu ziehen. Die Entlastung erfolgt durch den von unten nach oben drückenden Fahrkontakt (Rolle oder Bügel), sodass also die ruhende Last als Maximalbelastung in Rechnung gezogen werden kann. Der unter dem Fahrdraht dahingleitende Wagenkontakt hebt den Fahrdraht etwas an und lässt ihn dann wieder mit einiger Beschleunigung nieder gehen. Diese etwaige geringe Mehrbelastung kann man indess vernachlässigen.

Ergebnisse von Zugproben und Biegeproben.

Ver-suchs-No.		Bezeichnung des Materials	Durch-messer	Zugversuche						Biege-Versuche
				Quer-schnitt	Länge der Teilung	Bruch- Last	Bruch- Spannung	Dehnung, gemessen auf die Länge der Teilung	Lage des Bruches	Anzahl der Biegungen bis zum Bruch
			mm	qmm	mm	kg	kg/qmm	%		
1	a	Hartgezogener Kupferdraht	8,0	50,3	200	2060	41,0	—	In der Einspannung	—
	b				200	2060	41,0	—	desgl.	—
	Mittel			—	—	—	41,0	—	—	—
2	a	Hartgezogener Kupferdraht mit Anlötstelle	8,0	50,3	200	1300	25,8	15,9	In der Anlötstelle	—
	b				200	2080[1])	41,4	—	In der Einspannung	—
	Mittel			—	—	—	—	—	—	—
3		Hartgezogener Kupferdraht mit weichverlöteter Stossverbindung	7,8	47,8	450	1580	33,1	0,2	Innerhalb der Verlötung	—
	Mittel			—	—	—	—	—	—	—
4	a	Galvanisierter Stahldraht	6,9	37,4	200	2360	63,1	7,9	Im freien Teil	4
	b				200	2360	63,1	—	Ausserhalb der Teilung	4
	Mittel			—	—	—	63,1	[7,9]	—	4
5	a	desgl.	6,0	28,3	200	1680	59,4	5,9	In der Mitte	4
	b				200	1660	58,7	9,2	Im freien Teil	5
	Mittel			—	—	—	59,1	7,6	—	5
6	a	desgl.	5,0	19,6	200	1160	59,2	6,8	Im freien Teil	5
	b				200	1160	59,2	7,3	desgl.	5
	Mittel			—	—	—	59,2	7,1	—	5
[illegible]	a	desgl.	[illegible]	[illegible]	200	860	68,3	—	In der Einspannung	6

	b	[illegible]	[illegible]	[illegible]	200	872	69,2	4,2	Im freien Teil	6
	Mittel			—	—	—	68,8	[4,2]	—	6
8	a	desgl.	2,0	3,1	200	226	72,9	2,4	Im freien Teil	10
	b				200	215	69,4	2,9	desgl.	10
	Mittel			—	—	—	71,2	2,7	—	10
9	a	desgl.	6,0	28,3	300	2720	96,1	8,0	Im freien Teil	4
	b				300	2720	96,1	7,9	desgl.	4
	Mittel			—	—	—	96,1	8,0	—	4
10	a	desgl.	5,0	19,6	300	1900	96,9	7,2	Im freien Teil	5
	b				300	1960	100,0	8.8	desgl.	5
	Mittel			—	—	—	98,5	8,0	—	5
11	a	desgl.	2,0	3,1	300	297	95,8	8,5	Im freien Teil	9
	b				300	299	96,5	—	desgl.	10
	Mittel			—	—	—	96,2	[8,5]	—	10
12	a	desgl.	6,0	28,3	300	1080	38,2	15,6	Im freien Teil	9
	b				300	1100	38,9	13,1	desgl.	9
	Mittel			—	—	—	38,6	14,4	—	9
13	a	desgl.	5,0	19,6	300	840	42,9	13,9	Im freien Teil	9
	b				300	760	38,8	14,0	desgl.	9
	Mittel			—	—	—	40.9	14,0	—	9
14	a	desgl.	4,2	13,9	300	680	48,9	9,3	In der Einspannung	2
	b				300	660	47,5	9,3	Im freien Teil	2
	Mittel			—	—	—	48,2	9,3	—	2
15	a	desgl.	2,0	3,1	300	129	41,6	11,3	Im freien Teil	15
	b				300	127	41,0	13,7	desgl.	15
	Mittel			—	—	—	41,3	12,5	—	15

Bemerkung. 1) Abschnitt ohne Lötstelle. 2) Bei den [] geklammerten Werten wurden weniger als 2 Zahlen zum Mittel gezogen. 3) Die Proben No. 8, 11 und 15 wurden um einen Radius von 5,5 *mm*, die übrigen Proben um einen Radius von 10 *mm* gebogen.

Zu Seite 196.

Bei der Entfernung der Stützpunkte von 40 *m* und darunter und dem sich als praktisch erwiesenen Querschnitt des Fahrdrahtes von 50 *qmm* = ∾ 8 *mm* Durchmesser, sind folgende Verhältnisse massgebend:

Die Zugfestigkeit des hartgezogenen Kupferdrahtes ist 40—45 *kg* für das Quadratmillimeter, mithin 40 × 50 = 2000 *kg* bis 45×50 = 2250 *kg* für den Gesamtquerschnitt.

An den Drahtverbindungsstellen kann die Festigkeit bis auf 26 *kg/qmm* herabsinken. Die zulässige Beanspruchung an der Elastizitätsgrenze dürfte 12—14 *kg/qmm* betragen.

Die Leitungsfähigkeit ist 97 % des reinen Kupfers.

Über den Elastizitätsmodulus bei den verschiedenen Temperaturen und Härtegraden, welche sowohl durch die Strombeanspruchungen, als auch durch die mechanischen Einflüsse ständigem Wechsel unterworfen sind, sind sichere Angaben bisher nicht zu erhalten gewesen. Nach Ledebur (Zeitschr. d. V. d. Ing. 1896, Nr. 23, S. 637) ist in den üblichen Temperaturgrenzen die veränderte Festigkeit nicht von Belang. Bis 80° C. tritt eine wesentliche Veränderung der Metalle überhaupt nicht ein.

Es ist für das hier verwandte Material noch nicht erwiesen, bei welchen Härtegraden des Materials die absolute Festigkeit von 40—45 *kg/qmm* vorhanden ist; wie sich absolute Festigkeit und Elastizitätsgrenze bei geringeren Härtegraden verhalten, wie sich die Temperaturkoëffizienten zwischen den üblichen Temperaturen von — 20° C. bis + 30° C. verhalten, und um wieviel sich die absolute Festigkeit und die Elastizitätsgrenze bei den verschiedenen Temperaturen zwischen — 20° C. und + 30° C. ändern.

Die angenommenen Werte entsprechen aber den sonst üblichen Annahmen, die solange gelten mögen, bis die Fragen von massgebender Seite gelöst sind. Durch den Betrieb kann ein Nachlassen der Festigkeit des Fahrdrahtes dadurch eintreten, dass Stromüberlastungen stattfinden, welche den Draht erwärmen können, und dass die Wagenkontaktvorrichtungen zeitweilig starke Übergangsfunken begünstigen. Die geringe Berührungsfläche zwischen Wagenkontakt und Fahrdraht macht es natürlich, dass z. B. bei Kurzschluss in dem Wagen die kontaktstelle heiss wird, den Kontaktdraht erwärmt oder sogar an der Kontaktstelle denselben abschmilzt. Eine noch weitere Ursache für die Festigkeitsveränderung des Fahrdrahtes dürfte darin zu suchen sein, dass die Struktur des Fahrdrahtes durch den Stromdurchgang ungünstig beeinflusst wird. Hierzu kommen aber ganz besonders noch die rechnerisch wohl kaum genauer zu bestimmenden Inanspruchnahmen infolge der unvermeidlich eintretenden Schwingungen in allen drei Bewegungsrichtungen. Schon aus diesen Gründen rückt vermutlich bereits beim gewöhnlichen Betriebe die wirkliche Zug-

beanspruchung des Fahrdrahtes der Bruchfestigkeit desselben weit näher, als in der Regel angenommen wird. Vermutlich werden demnach Drahtbrüche besonders rasch an solchen Stellen eintreten, wo unsichtbare Fabrikationsfehler Ursache der Schwächung der Widerstandsfähigkeit sind. Dieselben verschwinden so allmählich aus der Anlage.

Über die an Luftdrähten haftenden Schneemassen berichtete die »Neue Züricher Zeitung« von einem dort vorgekommenen Fall. Gewöhnlich beträgt die Dicke der Schneeumhüllung nur 2—3 *cm*. Bei ausserordentlichen Schneefällen ist es aber nicht selten, dass dieselbe einen Durchmesser von 6 *cm* erreicht. Die Züricher meteorologische Station bewertet das spezifische Gewicht des am 2. April 1898 dort gefallenen sehr nassen Schnees mit 0.2. Darnach ergiebt sich das Schneegewicht, das ein 100 *m* langer Draht zu tragen hat, mit 60 *kg*, also 35 % mehr als sein Eigengewicht. Die hierdurch in den Drähten hervorgerufene Spannung wird aber noch dadurch wesentlich erhöht, dass gleichzeitig die Temperatur rasch auf nahezu 0^0 herabsinkt. Es ist demnach wohl erklärlich, dass unter solchen Umständen sehr leicht Drahtbrüche erfolgen können.

Beim Fahrdraht elektrischer Bahnen kann eine derartige Belastung kaum eintreten, da sich der Draht während des Betriebes in ständiger vibrierender Bewegung befindet, wodurch Schneeablagerungen hintangehalten werden. Während des Nachts kann durch Schneefall und Rauhfrost allerdings auch eine Mehrbelastung erfolgen. Wenn man aber bei Zeiten schon aus Gründen des leichteren Befahrens der Fahrschienen bei Nacht einen Betriebswagen die Strecken abfahren lässt, kann die Schneeanhäufung nicht gross werden. Wir können demnach einen Wert von 0,5 *kg* für 1 *m* Fahrdraht einschliesslich Fremdlast in die Rechnung einsetzen.

Da die Spannung im Draht abhängig ist von der Entfernung der Stützpunkte, von dem Eigengewicht des Drahtes bezw. dessen Belastung durch Schnee u. s. w. und von dem zur Zeit gerade herrschenden Durchhang, so ist der Horizontalzug H bezw. der Seilzug, was des praktisch geringen Unterschiedes wegen einander gleich gesetzt werden soll, ausdrückbar durch:

$$H = \frac{w \cdot g}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

worin w die Spannweite, g das Gewicht des Drahtes bei 1 *m* Länge ist und α der Temperaturwinkel. Da

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\,a}{\frac{w}{2}} = \frac{4\,a}{w}$$

ist, wird mithin

$$H = \frac{w^2 \cdot g}{8a} = \frac{40^2 \cdot 0,5}{8 \cdot a} = \frac{100}{a} \qquad \text{(Fig. 150.)}$$

Unbekannt ist der Durchhang a; diesen wählt man so, dass bei der grössten Kälte die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird. Mit steigender Temperatur dehnt sich der Draht aus, der Durchhang wird grösser; mit sinkender Temperatur zieht sich der Draht zusammen, der Durchhang wird kleiner, mithin wächst die Seilspannung des Fahrdrahtes im Winter, und es sinkt die Horizontalspannung im Sommer.

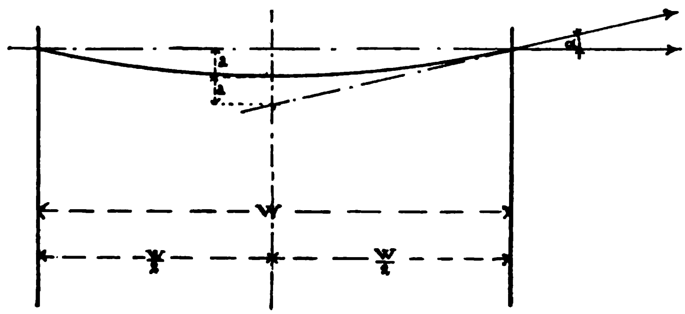


Fig. 150.

Die beobachteten grössten Temperaturschwankungen reichen in unserem europäischen Klima von

$$-20^0\ C. \text{ bis } +30^0\ C.,$$

somit darf bei -20^0 C. kein stärkerer Zug auftreten als $50 \times 14 = 700$ *kg*.

Der Durchhang a wird demnach bei 40 *m* Spannweite und -20^0 C.,

$$700 = \frac{100}{a},$$

$$a = \frac{1}{7} = 0,143\,m = 143\,mm.$$

Der Ausdehnungskoëffizient von Kupfer ist 0,001 718 für 0 bis 100° Temperaturerhöhung $\left(\text{d. i. } \frac{1}{582}\right)$.

Der Elastizitätsmodul für hartgezogenes Kupfer ist, auf Quadratmillimeter bezogen, 12 100, mithin ist die Kraft, welche den 50 *qmm* starken, hartgezogenen Kupferdraht um seine eigene Länge, d. h. um 100 % ausdehnt, wenn dies überhaupt möglich wäre,

$$12\,100 \cdot 50 = 605\,000\ kg.$$

100° dehnen aber den Draht um 0,001 718 seiner Länge aus, 1° um 0,00 001 718.

Die Vermehrung oder Verminderung der Drahtspannung ist somit für 1° = 605 000 · 0,00 001 718 = 10,4 *kg* = ~ 10 *kg*.

Steigt nun die Temperatur, so wird der Durchhang grösser und es treten bei Abstufungen von 10° zu 10° folgende Seilspannungen H und Durchhänge a auf:

	H	a
— 10° C.	= 600 *kg*	$^1/_6$ *m* = 166 *mm*
+ 0° C.	= 500 »	$^1/_5$ » = 200 »
+ 10° C.	= 400 »	$^1/_4$ » = 250 »
+ 20° C.	= 300 »	$^1/_3$ » = 333 »
+ 30° C.	= 200 »	$^1/_2$ » = 500 »

Um nun im Sommer den bedingten grossen Durchhang sowohl aus ästhetischen Gründen, als auch aus Gründen für eine sichere Kontaktgebung für den Wagenkontakt, welche bei straff gespanntem Fahrdraht wesentlich günstiger wird, zu vermeiden, versieht man zweckmässig den Fahrdraht mit Nachspannvorrichtungen, wie solche später beschrieben sind.

Die Praxis hat nun allerdings gezeigt, dass beim Übergang vom Sommer zum Winter der Draht nicht derartig nachgespannt zu werden braucht, wie es den betreffenden Seillängen entspricht; ein Zeichen dafür, dass das allgemeine Gesetz nicht ganz richtig bleibt. Der Draht dehnt sich infolge der Wirkung des reibenden Wagenkontaktes und infolge von Wärmewirkungen starker Übergangs- und Kurzschlussfunken mit der Zeit aus, ohne dass er dadurch seine spezifische Zugfestigkeit einbüssen müsste. In diesem Falle würde die Festigkeit nachlassen und schliesslich zum Bruch führen, wenn nicht die mechanische Beanspruchung dem Drahte allmählich wieder die höhere Festigkeit zurückgiebt.[1])

Der Querdraht.

Derselbe ist meist ein verzinkter Stahldraht von 20 *qmm* Querschnitt mit einer spezifischen Festigkeit bis zu 100 *kg/qmm* (in der Regel 60—80 *kg/qmm*).

[1]) Über den Durchhang von Freileitungen u. s. w. hat Ingenieur Josef Herzog in der ETZ 1894, Heft 32, Rechnungen und Tabellen veröffentlicht, auf welche hiermit verwiesen sein mag.

Man vermeidet es, den auftretenden verschiedenen Beanspruchungen entsprechend, verschiedene Drahtquerschnitte anzuwenden, weil die Konstruktionen der Isolatoren, Spanner u. s. w. für ein und denselben Querdraht verwendbar sein müssen. Darum genügt es auch hier, die Verhältnisse nur für den 20 *qmm*-Draht zu berücksichtigen.

Die Elastizitätsgrenze dieses Materials liegt bei 30 *kg/qmm*. Maximalbelastung ist demnach bei diesem Querschnitt 600 *kg*. Der Ausdehnungskoëffizient des Stahles bei den in Frage stehenden Temperaturen für 0—100° ist 0,00125 = $^1/_{800}$.

Der Elastizitätsmodul ist 22000, bezogen auf Quadratmillimeter. Das Eigengewicht des Drahtes beträgt bei einem spezi-

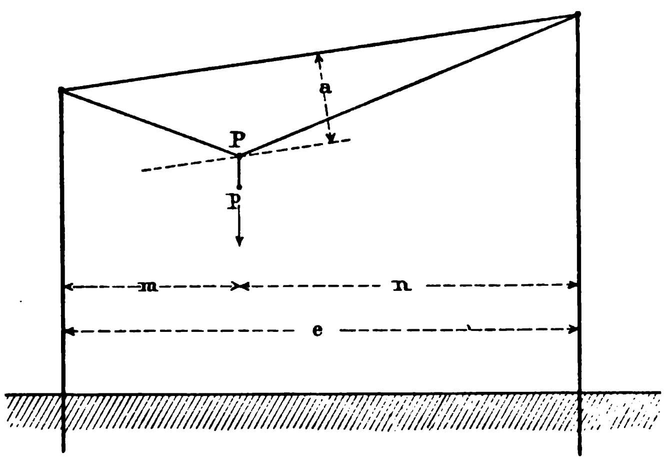


Fig. 151.

fischen Gewicht von 7,86: 20 · 1000 · 7,86 = 0,157 *kg/m*. Das Fremdgewicht für Schnee, Eis, Staub und ungünstigste Windkomponente = ~ 0,013 *kg/m*. Mithin g = 0,17 *kg* Gesamtgewicht.

Der Querdraht wird im ungünstigsten Falle mit 2 × 40 *m* Fahrdraht = 40 *kg* belastet. Hierzu kommt das Gewicht der Isolatoren mit je ca. 2,5 *kg*, sodass die Gesamtbelastung für einen Querdraht 45 *kg* beträgt bei zweigleisiger Strecke und 40 *m* Querdraht-Entfernung.

Da die Beanspruchungen von Fall zu Fall verschiedene sind, werden zunächst die allgemeinen Formeln zusammengestellt, und alsdann einer der ungünstigsten Fälle durchgerechnet werden.

Es bedeuten im Nachfolgenden ähnlich den vorherigen Bezeichnungen (Fig. 151.):

e = horizontale Entfernung der Stützpunkte in *m*,

m, n = wagerechte Abstände des belasteten Punktes P von den beiden Stützpunkten in *m*,

p = das im Punkte P lotrecht wirkende Gewicht in *kg* + $\frac{e\,g}{2}$ = dem halben Eigengewicht des Drahtes,

s = Seilspannung in *kg*,

g = Gewicht des Querdrahtes in *kg*/*m*,

a = Durchhang in *m*, gemessen von der Verbindungslinie der Stützpunkte,

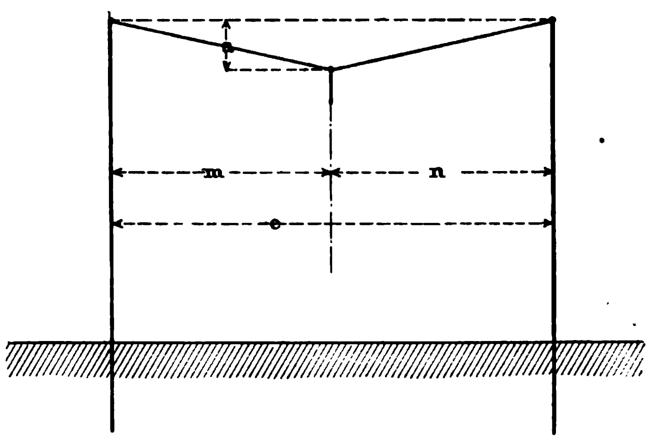


Fig. 152.

$$a = \frac{m \cdot n}{e} \cdot \frac{p}{s} = \text{Durchhang an beliebiger Stelle,}$$

$$a = \frac{e}{4} \cdot \frac{p}{s} = \text{Durchhang in der Mitte, d. h. wenn p in der}$$
Mitte angreift.

Der einfachen Rechnung wegen werde stets angenommen, dass beide Fahrdrähte in der Mitte hängen, bezw. im Punkt P vereinigt sind.

Der Durchhang wird zumeist durch die zur Verfügung stehenden Masse bestimmt. Zwischen Häusern und festen Punkten kann bis zum Gefälle 1 : 25 gespannt werden. Zwischen Masten wird in der Regel mit 1 : 10 zu rechnen sein.

Fall I. Die Stützpunkte seien in gleicher Höhe, die Last p in der Mitte angeordnet (Fig. 152).

m = n = $e/_2$ =		10	15	20	25	30	40	50 *m*
Durchhang a bei	1 : 10	1	1,5	2	2,5	3	4	5 *m*
	1 : 20	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	2,5 *m*
	1 : 25	0,4	0,6	[0,8]	[1,0]	[1,2]	[1,4]	[1,6] *m*

Die Seilspannung ist mithin $s = \frac{e}{4} \cdot \frac{p}{a}$; worin $p = 45 + \frac{e\,g}{2}$ $= 45 + 0{,}085$ e ist.

Die [eingefassten] Abmessungen und Belastungen sind unzulässig, da hierdurch die Elastizitätsgrenze überschritten wird, und sind nur der Vollständigkeit halber hier mit aufgeführt.

e =	20	20	20	30	30	30	40	40	[40]	50	50	[50]	*m*
a =	1	0,5	0,4	1,5	0,75	0,6	2	1	[0,8]	2,5	1,25	[1,0]	*m*
p =	46,7	46,7	46,7	47,5	47,5	47,5	48,4	48,4	[48,4]	49,25	49,25	[49,25]	*kg*
s =	234	457	585	238	475	595	242	484	[605]	246	493	[615]	*kg*

e =	60	60	[60]	80	80	[80]	100	100	[100]	*m*
a =	3	1,5	[1,2]	4	2	[1,4]	5	2,5	[1,6]	*m*
p =	50,1	50,1	[50,1]	51,8	51,8	[51,8]	23,5	23,5	[53,5]	*kg*
s =	250	500	[625]	260	520	[740]	268	535	[835]	*kg*

Fall II. Die Stützpunkte seien in verschiedener Höhe, die Last p hänge nicht in der Mitte. (Vergl. Fig. 151.)

Sofern nicht grössere Spannweite und die Drahtsteigung zwischen 1:10 und 1:25 gewählt wird, treten grössere Beanspruchungen nicht auf.

Daher im allgemeinen:

$$s = \frac{m \cdot n}{e} \cdot \frac{p}{a}$$

$$a = \frac{m \cdot n}{e} \cdot \frac{p}{s}.$$

Über die mechanische Beanspruchung elektrischer Leitungen auf ungleichen Stützen siehe auch ETZ 1899, H. 51, S. 886.

Spanndrähte.

Die Belastung der Spanndrähte setzt sich zusammen aus der Belastung eines Querdrahtes, der nur zum Tragen dient, und der eines reinen Abspanndrahtes. Erstere Beanspruchung ist gemäss der vorstehenden Berechnung zu behandeln. Für den seitlichen

Zug diene folgende Betrachtung: Der in der Geraden herrschende Seilzug des Fahrdrahtes überträgt sich auf jeden Spannpunkt mit einem Werte, welcher der Resultante zweier gleichen Zugkräfte entspricht, sofern der Spanndraht diesen Winkel halbiert. Beträgt die Fahrdrahtspannung 600 *kg*, so darf, da die grösste Belastung des 20 *qmm* Spanndrahtes 600 *kg* ist, der kleinste Winkel, den der Fahrdraht am Abspannpunkt bildet, 120° nicht überschreiten, d. h. die Resultante darf nicht grösser als 600 *kg* sein. (Vergl. Fig. 153.)

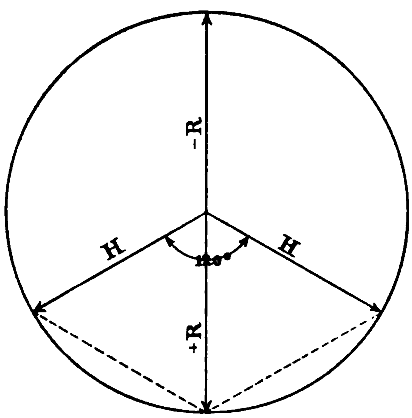


Fig. 153.

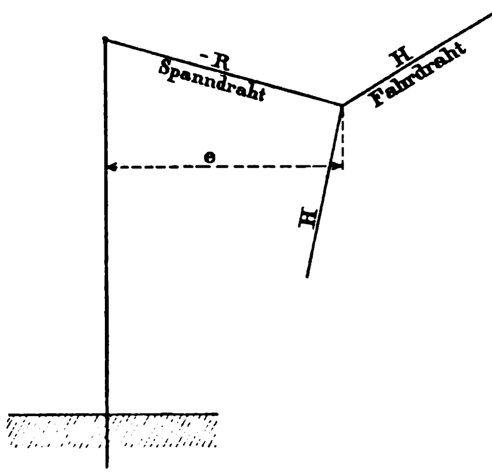


Fig. 154.

Mit dieser Maximalbeanspruchung ergiebt sich der Durchhang a des Spanndrahtes bei gleicher Höhe des Spannpunktes und des Stützpunktes:

$$a = \frac{e}{4} \cdot \frac{p}{600}; \quad p = \frac{e\,g}{2}; \text{ mithin}$$

$$a = \frac{e^2 g}{8 \cdot 600} \text{ bei } -20^0 \text{ C.}$$

da $g = 0{,}17$; $a = \dfrac{e^2 \cdot 0{,}17}{8 \cdot 600} = 0{,}000035\, e^2$.

(Vergl. Fig. 154.)

Eine tabellarische Zusammenstellung der Zugkräfte bei den Abspann- bezw. Peripheriewinkeln zwischen 180° u. 120° folgt. Die

Werte gelten für die niedrigste Temperatur von — 20° C. (Fig. 155).

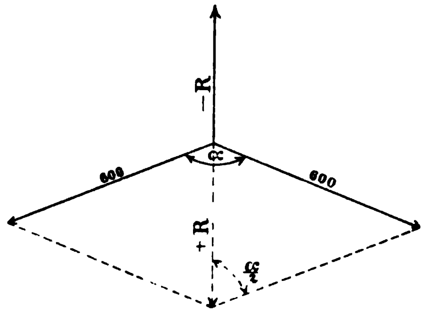


Fig. 155.

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{R}{2}\cdot\frac{1}{600}$$

$$R = \cos\frac{\alpha}{2}\cdot 1200.$$

α	120	130	140	150	160	170	180	Grad
$\cos\frac{\alpha}{2}$	0,5	0,423	0,342	0,259	0,174	0,087	0,000	
R.	600	505	410	310	208	104	0,0	*kg*

Ankerdrähte.

Dieselben werden in der Horizontalen und in der Geraden nur beim Reissen des Fahrdrahtes beansprucht. In diesem Falle müssen dieselben jedoch den ganzen Horizontalzug aufnehmen. Es werden also, je nach der Art der Verankerung, ein oder zwei Drahtquerschnitte den Zug aufzunehmen haben.

In Kurven und Steigungen übernehmen die Ankerdrähte entweder ganz oder teilweise den Zug im Fahrdraht und sind dementsprechend zu dimensionieren. Das Eigengewicht kann vernachlässigt werden. Die Angriffspunkte am Fahrdraht befinden sich zugleich an den entsprechend konstruierten Aufhängungskonstruktionen, welche von den Querdrähten getragen werden. Je nach Lage der Verankerungen muss die Berechnung der Ankerdrähte analog dem Fahrdraht oder analog dem Querdraht erfolgen, in den meisten Fällen aber wird eine Vereinigung beider Beanspruchungen in Betracht gezogen werden müssen.

Das englische Gesetz verlangt, dass der Sicherheitsfaktor für alle Trag- und Spanndrähte mit 6 angenommen werden muss, die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker bestimmen 5fache Sicherheit für gewöhnliche Leitungen und nur 3fache für hartgezogene Materialien.

Rosetten.

Die Rosetten an den Häusern sind zumeist für drei Angriffshaken eingerichtet. Es kann somit die Rosette auf Ausreissen beansprucht werden mit: 1 mal 600 *kg* und mit 2 mal einem Teilbetrag

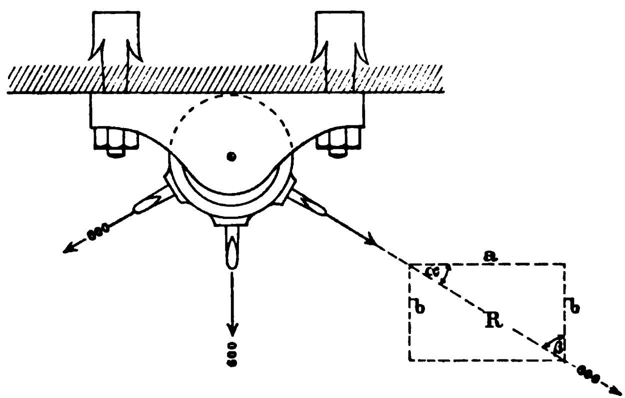


Fig. 156.

von 600 *kg*, je nachdem die Richtung der Spanndrähte wirkt. (Fig. 156.)

$$b = R \cdot \cos\beta = R \cdot \sin\alpha$$
$$b = 600 \cdot \cos\beta = 600 \cdot \sin\alpha$$
$$a = 600 \cdot \cos\alpha = 600 \cdot \sin\beta.$$

Die entsprechenden Teilbeträge sind demnach, wenn mit α der Winkel bezeichnet wird, welchen der Spanndraht mit der Mauer einschliesst, und mit β dessen Komplementwinkel:

α	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Grad
sin α	0,174	0,342	0,5	0,643	0,766	0,866	0,940	0,985	1,000	
b	105	205	300	385	460	520	563	590	600	*kg*
cos α	0,940	0.940	0,866	0,766	0,643	0,5	0,342	0,174	0,000	
a	590	563	520	460	385	300	205	105	0,00	*kg*

Die Vertikalbelastung der Rosette ist zu gering, um in Rechnung gezogen zu werden.

Maste.

Die Masten zur Befestigung der Querdrähte werden in ihrer Höhe bestimmt durch die Höhe des Fahrdrahtes über Schienenhöhe und durch den Durchhang des Querdrahtes, bezw. bei einem proportional der Länge angenommenen Durchhang durch die Länge des Querdrahtes. Hierzu kommt die Höhe des Fahrdrahtisolators, welche je nach Konstruktion 5—15 *cm* beträgt.

Unter Berücksichtigung der höchsten Temperatur, wobei sowohl Querdraht wie Fahrdraht den grössten Durchhang zeigen, wird man zu 6—7 *m* Höhe des Angriffspunktes über Schienenoberkante gelangen, und für diesen Hebelarm ist das Widerstandsmoment des Mastes zu berechnen.

Je nach der Beschaffenheit des Bodens wird man den Mast 1—2 *m* tief in den Erdboden setzen müssen, damit das Biegungsmoment unter der Erde gleich demselben über der Erde ist. In denjenigen Fällen, in denen der Erdboden dem Mastquerschnitt nicht genügend Widerlager bietet, bildet man das in der Erde steckende Mastende an den Stellen m und n (Fig. 157) mit entsprechend grosser Fläche aus, indem man z. B. Wellblechflächen anschraubt. Auch sind Cementsockel üblich.

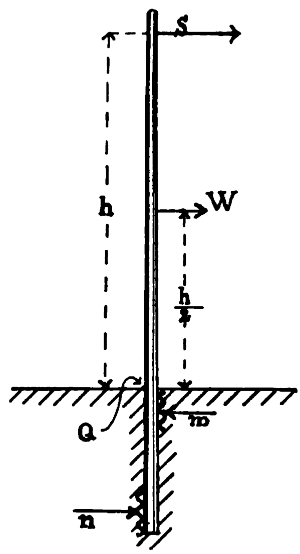


Fig. 157.

Das oberirdische Biegungsmoment setzt sich zusammen aus der Zugspannung des Querdrahtes und aus dem Winddruck auf den Fahrdraht und Isolator, beide angreifend am obersten Ende des Mastes, ferner aus dem Winddruck auf den Mast, angreifend in der Mitte des Mastes.

Auslegermast.

Derselbe findet bekanntlich Verwendung, wenn das Gleis dicht an der Strassenkante liegt, d. h. wenn Mitte Gleis nicht mehr als 2,5 *m* von der Achse des Mastes entfernt ist. In Ausnahmefällen sind auch grössere Auslegermaste, z. B. auch für zweigleisige Strecken, angewandt worden.

Fig. 158. Das Eigengewicht des Auslegers sei P_1 und greift im Schwerpunkt des Auslegers an, welcher je nach Form desselben

um einen Teilbetrag von l von der Achse des Mastes entfernt ist. Die Momentengleichung zur Berechnung des Auslegers ist somit gegeben. Um die biegende Kraft am Maste zu verringern, bringt man, wenn thunlich, ein Gegengewicht P_2 auf der entgegengesetzten Seite an, welches eventuell durch Speisekabel gebildet wird.

Die Zugspannung des Querdrahtes ist bekannt; der Winddruck auf den Fahrdraht ist bei 40 *m* der in Betracht kommenden Länge gleich $^2/_3$ derjenigen Kraft, welche auf den Längsquerschnitt des Drahtes wirken würde, wenn der Draht anstatt rund zu sein, dem horizontalen Winddruck eine vertikale Fläche entgegenstellen würde.

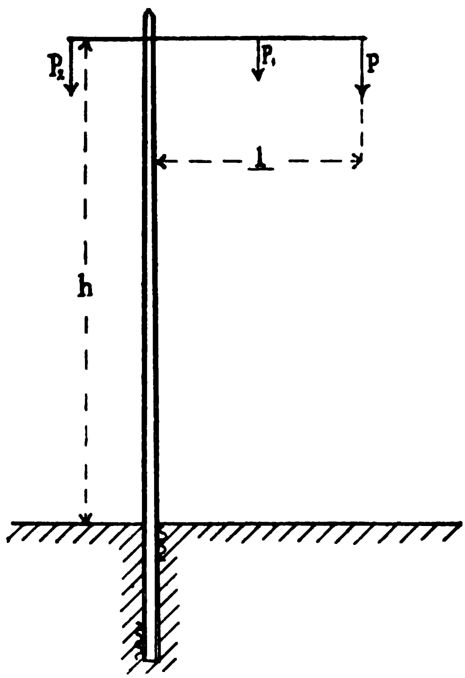


Fig. 158.

Ein orkanartiger Wind mit einer Geschwindigkeit von 20 *m* in der Sekunde drückt auf ein *qm* Fläche mit ~ 50 *kg*. Dies ergiebt einen Winddruck auf den 8 *mm* Fahrdraht von:

$$^2/_3 \cdot 50 \cdot 40 \cdot 0{,}008 = \\ = \sim 10\,kg.$$

Der Winddruck W auf den Mast selbst ist je nach Durchmesser des Rundmastes wiederum mit $^2/_3$ des auf den projizierten Cylinder entfallenden Winddruckes zu rechnen. Beim Vierkantmast oder Gittermast ist der volle Betrag von 50 *kg* für das Quadratmeter Windfläche einzusetzen.

Das englische Gesetz verlangt, dass der Winddruck mit 240 *kg/qm* in Rechnung gezogen wird, d. h. also mit einer fast fünffachen Sicherheit. Belastungen durch Schnee und Eis können dabei ausser Betracht bleiben. Die Sicherheits-Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker fordern den Winddruck mit 125 *kg* für 1 *qm* senkrecht getroffener Fläche.

Das Biegungsmoment ist mithin

$$(S + 10)\,h + W \cdot \frac{h}{2},$$

wofür der gefährliche Querschnitt bei Q berechnet werden muss.

Die in Betracht kommenden Masten sind aus Holz, Eisen oder Stahl, die Querschnitte sind: Kreisfläche mit dem Widerstandsmoment

$$\frac{\pi}{32} d^3 = 0{,}0982\, d^3,$$

$$\text{Ringquerschnitt} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D},$$

zusammengesetzte Querschnitte mit entsprechenden Widerstandsmomenten.

Ein wesentlicher Faktor für die Bestimmung von h ist die Entfernung des Mastes von dem Fahrdraht, denn da die Neigung des Querdrahtes im normalen Zustande 1 : 10 bis 1 : 25 ist, so ergiebt sich bei breiten Strassen ein höherer und stärkerer Mast als bei schmalen Strassen.

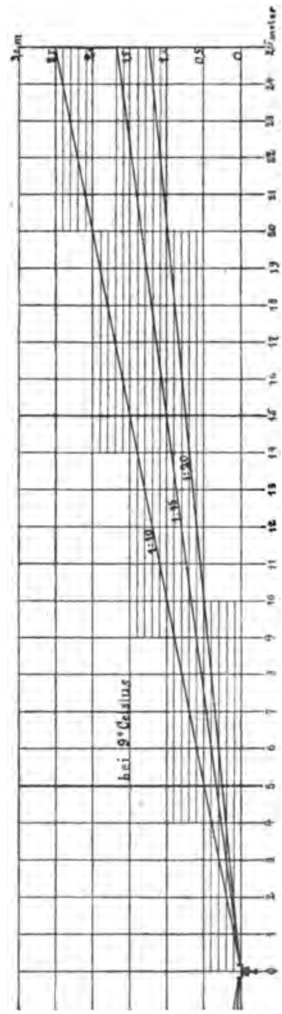


Fig. 159.

Fig. 159 zeigt graphisch die Höhe des Angriffspunktes bei beliebigen Spannweiten und bei Steigungen von z. B. 1 : 10, 1 : 15, 1 : 20, wie solche überhaupt vorkommen können. Was von der Mastenhöhe gilt, ist natürlich auch für die Höhe der anzubringenden Rosetten massgebend.

Die Vertikalbelastung des Mastes selbst setzt sich demnach zusammen aus den Gewichten P, P_1, P_2, während die seitliche Beanspruchung gebildet wird aus dem Winddruck auf den Mast und den Draht und aus dem nicht ganz ausgeglichenen Auslegerdrehmoment. Ausserdem ist noch die tordierende Kraft am Hebelarm des Auslegers gebührend in Rechnung zu ziehen. »Über die Aufhängung der Oberleitung bei elektrischen Bahnen« hat Dr. Gustav **Rasch**, in der ETZ 1897, Heft 27 u. 28, eingehende Festigkeitsberechnungen veröffentlicht, welche als wertvolle Ergänzung vorstehenden Inhalts gelten können.

h) Isolationsmaterial.

Das beim Bau der Bahn-Leitungsanlagen Verwendung findende Isolationsmaterial ist im allgemeinen dasselbe, welches auch für

Lichtanlagen üblich ist. Okonit, Mikanit, Mika (Glimmer), Porzellan, Glas, paraffiniertes Holz, Gummi, Hartgummi u. dergl. leisten auch hier gute Dienste. Das von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in den Handel gebrachte Stabilit besitzt eine sehr hohe Isolationsfähigkeit und ist bei weitem nicht so hygroskopisch als Fiber oder mangelhaft durchdrungenes Holz. Es ist äusserst bildsam und bearbeitungsfähig und verträgt eine hohe spezifische Beanspruchung. Die Masse scheint eine, unter äusserst hohem Druck zusammengepresste, in Formen gebrannte Gummimasse zu sein. Jedenfalls widersteht das Stabilit den durch die fortwährenden Erschütterungen hervorgebrachten hohen Beanspruchungen gut.

Ein anderes Isolationsmittel ist auch das Steatit (Friedrich Heller-Nürnberg), eine porzellanähnliche Masse aus gebranntem Speckstein. Dasselbe ist hart, fest und nicht so zerbrechlich wie Porzellan. Es ist gegen Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Säuren, Gase u. s. w. beständig und ein guter Isolator, auch wenn es nicht glasiert wird.

Über das Ambroin schreibt Dr. Böhlendorff: Das Ambroin besteht aus recent-fossilen Copalen und Silikaten. Die Copale werden nach einem eigenartigen Verfahren verarbeitet und in Lösung gebracht. Nach dem von den »Ambroinwerken« angewendeten Verfahren lassen sich aber alle Copale ausnahmslos so leicht in Lösung bringen, dass für die Herstellung des »Ambroins« nur die genannten Copalarten benutzt werden. Dagegen war es bisher der schwierigen Lösung wegen allgemein üblich, für Isolationsmaterialien, welche Harze enthalten, nicht recent-fossile, sondern nur recente Copale zu verwenden, die für derartige Zwecke als minderwertig bezeichnet werden müssen, weil alle recenten Harze noch oxydationsfähig und demgemäss nicht witterungsbeständig sind. Die gelösten Copale werden mit Silikaten — vorzugsweise Asbest und Glimmer — versetzt, worauf das Ganze so lange stehen bleibt, bis die Silikate mit den Copallösungen vollständig durchtränkt sind; dann gelangt die entstandene teigartige Masse in Mischmaschinen und wird schliesslich im Vakuum getrocknet. Hierbei werden die Lösungsmittel, wie Alkohol, Benzol, Terpentin u. s. w., wiedergewonnen. Die hartgetrocknete Masse wird in Kollergängen zerrieben — nicht etwa fein gemahlen — und ist so zum Pressen fertig. Das Pressen der Stücke erfolgt in stählernen Formen, die mit der Masse gefüllt und erwärmt werden; der Druck, der hierbei angewandt wird, variiert zwischen 100 000 und 350 000 *kg* und wird durch hydraulische Pressen bewirkt.

Ambroin wird, je nach seinem Verwendungszweck, in 4 Hauptqualitäten hergestellt, in der gewöhnlichen Qualität für elektrotech-

nische Zwecke A F, in der hitzebeständigen Marke F_1, in der säurebeständigen B A S und in der alkalifesten Qualität A B S.

Ambroin hat das spezifische Gewicht von 1,4 bis 1,8 d. h. in den gewöhnlichen Qualitäten etwa das des Hartgummis oder nur unwesentlich mehr; das höhere specifische Gewicht — 1,7 bis 1,8 — kommt der schwer brennbaren Qualität zu.

Ambroin lässt sich ohne Schwindmass pressen; dies ist ein wesentlicher Vorzug besonders vor dem Hartgummi. Hartgummi wird bekanntermassen vulkanisiert und erleidet dabei ein Schwinden, welches nicht immer gleichmässig ist, sodass man genötigt ist, solche Stücke, die ganz genaumassig sein müssen, nachträglich zu bearbeiten. Bei Ambroin ist die exakte Herstellung der Stücke durch blosse Pressung möglich, sodass eine Nachbearbeitung unnötig ist; selbst die kompliziertesten mehrteiligen Stücke passen ohne weiteres ineinander. Falls bei solchen mehrteiligen Isolationskörpern ein späteres Auswechseln von Einzelteilen, die im Gebrauch defekt geworden sind, notwendig wird, kann man also die entsprechenden Ersatzteile benutzen, ohne an denselben irgend etwas nachzupassen.

Ambroin lässt sich ähnlich wie Hartgummi drehen, bohren, schneiden und wie Holz polieren. Im allgemeinen empfiehlt es sich aber, die Stücke gleich fertig pressen zu lassen; auch Löcher, Gewinde u. s. w. werden sehr sauber durch Pressung hergestellt, ebenso ist es leicht, Metallstücke, wie Gewindestifte, Kontakte u. s. w., mit einzupressen.

Ambroin ist gegen Witterungseinflüsse ausserordentlich widerstandsfähig, denn die zur Verwendung gelangenden recent-fossilen Copale haben Jahrhunderte, vielleicht Jahrtausende in feuchtem Erdboden oder im Meerwasser gelegen und sind von der Witterung nicht mehr angreifbar, ebensowenig wie Asbest und Glimmer, die ebenfalls Endprodukte von Verwitterungsprozessen sind. Ambroin nimmt ausserdem im Freien auch keine Feuchtigkeit auf, weil die Copale an sich nicht hygroskopisch sind und die Tränkung der Asbestfasern mit den Copalen derartig innig ist, dass dem Asbeste die weitere Aufsaugungsfähigkeit hierdurch völlig entzogen wird.

Ambroin AF zeigte infolge Wasserzunahme eine Gewichtszunahme von nur 0,32 %, das bekannte amerikanische Aetnamaterial, das besonders für Isolationskörper der Strassenbahnen benutzt wird, von 3,17 %, Stabilit von 1,41 %, Vulkasbest von 4,80 % und endlich Vulkanfiber von 24,5 %.

Die Versuche mit den genannten Materialien erfolgten in der Weise, dass Stücke von gleich grosser, glatter Oberfläche hergestellt und je $1^1/_2$ Stunden in Wasser von 75° gelegt wurden. Nach sorgfältigem Abtrocknen der Probestücke wurden dieselben in luftdicht verschlossenen Gefässen gewogen.

Diese Zahlen können zugleich als zuverlässige Verhältniszahlen dienen für das Verhalten der Materialien in nicht ganz trockenen Räumen oder im Freien.

Die Isolationsfähigkeit des Ambroins zeigt folgende Werte. Schalen von 3 *mm* Wandstärke zwischen fest angepressten Elektroden von 28 *qcm* Fläche zeigten bei 200 V gemessen einen Widerstand von mehr als 200 000 Megohm. Dieselben Schalen wurden nunmehr mit Schwefelsäure von 26° Bé. gefüllt, zugedeckt und in Thermostaten 10 Tage lang einer Temperatur von 49° C ausgesetzt. Der Widerstand betrug nach oberflächlichem Abtrocknen mit Fliesspapier am folgenden Tage ca. 150 000 Megohm, 2 Tage darauf ca. 200 000 Megohm.

Die Durchschlagsversuche, welche angestellt wurden, ergaben, dass eine lufttrockene Platte (Qualität A F) von 0,34 *mm* Stärke bei 5000 V nicht durchgeschlagen wurde. Platten (A F), welche mit siedendem Wasser behandelt worden waren, wurden bei einer Stärke von 0,33 *mm* mit 3500 V, bei 0,84 *m* Stärke jedoch mit 5000 V noch nicht durchgeschlagen.

Eine Platte (A F), 5 *mm* stark, wurde nach mehrtägigem Liegen in einem Zimmer von 95 % Luftfeuchtigkeit bei 36 000 V nicht durchgeschlagen.

Auch hinsichtlich seiner Festigkeit ist das Verhalten des Ambroins ein durchaus günstiges.

Es übertrifft an Druck- und Zugfestigkeit alle Gummifabrikate und alle Präparate aus recenten Harzen.

Die Zerreissversuche erfolgten mit Stäben, welche aus den bebetreffenden Materialien gleichmässig gedreht waren. Als Bruchgrenze ergab sich für

Hartgummi	79 *kg/qcm*	Belastung
Ätna-Material	98 ,,	,,
Ambroin A F	151 ,,	,,

Die Druckfestigkeit betrug für Würfel von ca. 25 *mm* Kantenlänge mit einer Druckfläche von ca. 6,4 *qcm*

für Ambroin	1216 *kg*,
,, Hartgummi	997 ,,
,, Ätna-Material	331 ,,

In der Wärme wird die Druckfestigkeit natürlich geringer.

Bei 60° betrug die Zahl für Ambroin immerhin noch 888 *kg*, bei Hartgummi hingegen begann die Zerstörung bei ganz geringer Belastung; es ist ja eine bekannte Thatsache, dass Hartgummi keine grosse Wärme verträgt.

Die hier mitgeteilten Daten sind zum grossen Teile Versuchsergebnissen entnommen, welche von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt und von der Mechanisch-technischen Versuchsanstalt ermittelt worden sind.

Ein anderes Isolationsmaterial wird in Amerika in den Handel gebracht, welches gegenüber den vorhandenen noch einige wesentliche Vorzüge besitzen soll.

Der Name »wiederaufgebauter Granit« giebt schon eine ungefähre Vorstellung von der Beschaffenheit dieses Materials. Fein pulverisierter Granit wird bei einer Temperatur von 1750^0 geschmolzen und in Formen gegossen. Das so gewonnene Produkt unterscheidet sich vom natürlichen Granit dadurch, dass es feuerfest ist, und in rotwarmem Zustand in kaltes Wasser geworfen, nicht Schaden leidet. Es widersteht allen Lösungsmitteln mit Ausnahme der Flusssäure; es erträgt Frost bei weitem besser als alle ähnlichen Materialien. Alle natürlichen Gesteine werden durch starken Frost zerstört. Natürlicher Granit enthält immer Wasser und ist ausserdem hygroskopisch, während das Schmelzprodukt diese Eigenschaft nicht besitzt. Die Druckfestigkeit des Materials übertrifft bei weitem die der Steine.

Die Möglichkeit, das Material in Formen zu giessen und dessen Wetterbeständigkeit lassen es bei Strassenbahnen sehr brauchbar erscheinen.

Die einzelnen Leitungsschienen der elektrischen Bahn, System Murphy, auf Manhatten Beach sind mit solchen Blöcken künstlichen Granits voneinander isoliert.

Die Hamburger Gummikamm Co. giebt über ihre Hartgummi-Fabrikate nach einem Prüfungsschein der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Charlottenburg II. 3906 die folgenden Durchschlagsweiten:

Reines Hartgummi, Qualität 3,

Dicke 0,3 *mm* : 19 000 V
,, 0,42 ,, : 20 000 V
,, 1,0 ,, : 36 000 V

Elektrotechnisches Hartgummi (Eisengummi), Qualität 68,

Dicke 1,0 *mm* : 32 000 V

Platten der Qualität 3 in Stärken von 5 und 17 *mm*, sowie solche der Qualität 68 in Stärken von 3, 5 und 25 *mm*, welche ebenfalls der Prüfung unterlegen haben, konnten laut Attest nach fünf Minuten dauernder Einschaltung mit der höchsten verfügbaren Spannung von 40 000 V nicht durchschlagen werden. In allen Fällen

der Prüfung gelangte Wechselstrom von der angegebenen Spannung zur Verwendung.

Zum Isolieren lassen sich auch fast sämtliche Sorten Glimmer verwenden, mit alleiniger Ausnahme derjenigen, welche metallische Einlagen enthalten. Die Farbe, welche der Glimmer hat, spielt gar keine Rolle, da die Flecke desselben meistens von Eisenoxyd herrühren, welches nicht leitend ist. Auch haben die Sprünge, welche im Glimmer vorkommen, sobald sie nicht derartig sind, dass das Glimmerstück dadurch zerfällt, keinen Einfluss. Stücke, in welchen die Sprünge durch die sprungfreien Lagen noch zusammengehalten werden, sind immer noch verwendbar.

Glimmer kommt in der Natur in Grössen von über 20 *cm* Länge im Verhältnis zur Produktion dieses Materials wenig vor und stellt sich daher der Preis für derartige Grössen zu teuer. Um diesen Übelstand im Preise zu heben, hat man vielfach das sogenannte Mikanit in Anwendung gebracht. Mikanit besteht aus gleichmässig dicken, wenn auch in unregelmässigen Grössen gespaltenen Glimmerplatten, die vermittelst einer Schellacklösung geklebt werden. Man ist bei geeigneter Fabrikation imstande, das Mikanit in jeder beliebigen Grösse und Stärke herzustellen. Zu vielen Zwecken ist das Mikanit ebenso gut anwendbar wie Mika, zu anderen Zwecken jedoch wieder nicht, indem die Schellacklösung störend ist. Kleine Grössen von reinem Glimmer, bis zu 12 *cm* Länge, stellen sich in der Regel nicht teurer als Mikanit und sind dann selbstredend praktischer.

Zu besonderen Zwecken darf man natürlich nur in jeder Beziehung fehlerfreien Glimmer benutzen. Platten von 0,02 *mm* bis 1 *mm* Stärke und darüber lassen sich spalten. Das Material bis zu 0,10 *mm* lässt sich bis zur Glasklarheit spalten.

Vulkanit-Asbest (E. Ladewig & Co., Rathenow) ist ein Isolationsmaterial, welches ebenfalls äusserst bildsam, fest, wetterbeständig u. dergl. ist und sehr viel Anwendung gefunden hat. Eine ähnliche Masse ist das Eburin, welches von der Gesellschaft für Strassenbahnbedarf fabriziert und vertrieben wird.

i) Fahrdrahtisolatoren.

Das Material für die Isolatoren auf der Strecke soll ausser den Isolationsmaterialien möglichst aus nur einem einzigen Metall bestehen, um zu vermeiden, dass die unter Zutritt von Feuchtigkeit zwischen verschiedenen Metallen herrschende Spannungsdifferenz Sitz elektromotorischer Kräfte und somit zerstörender Ströme wird.

Man muss bestrebt bleiben, so wenig als möglich parallel geschaltete Isolatoren zu verwenden, da mit der Anzahl der parallel

geschalteten Isolationsstellen der Übergangswiderstand zwischen Fahrdraht und Fahrschiene, d. h. zwischen den beiden Polen der Bahnanlage, abnimmt, der Stromübergang mithin zunimmt. Die Verbandsvorschriften verlangen 50000 Ohm für das Kilometer einfacher Länge.

Das Anklammern des Fahrdrahtes geschieht entweder mittels Schrauben und Klemmbacken, oder mittels Lötung, oder mittels



Fig. 160.



Fig. 161.

Einlegen in besonders konstruierte Halter. Da man bestrebt ist, den Fahrdraht zwei- oder dreimal gegen Erde gut zu isolieren, so



Fig. 162.

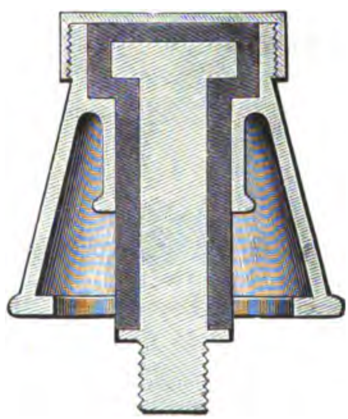


Fig. 163.

ist gewöhnlich der Halter als Isolator ausgebildet, wodurch man zugleich erreicht, dass der Querdraht stromlos wird.

Das Isolationsstück für den Fahrdrahtisolator ist in Fig. 160 dargestellt. Die Auflagerflächen sind hier konisch, um möglichst geringen spezifischen Druck auf das Isolationsmaterial zu erhalten. Der Einbau des Isolationsstückes ist in Fig. 161 gezeigt. Fig. 162 zeigt eine andere Form des Isolators, bei welchem wiederum auf zentralen Druck Rücksicht genommen ist. Fig. 163 besitzt senk-

rechte Druckflächen und eignet sich mehr für seitliche Isolatorbeanspruchung, z. B. für Kurven. Die Fabrikation der Isolations-

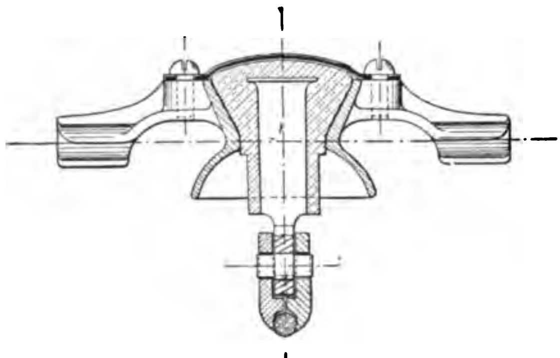


Fig. 164.

stücke hat darauf zu achten, dass der Tragbolzen gut in der Mitte der Isolationsschicht sitzt. Der von der Allgemeinen Elektricitäts-



Fig. 165.

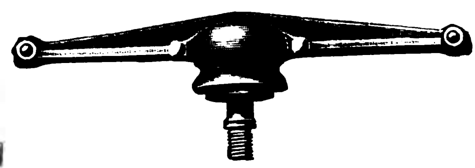


Fig. 166.

Gesellschaft Berlin fabrizierte Fahrdrahtisolator ist im Konstruktionsschnitt in Fig. 164 dargestellt.



Fig. 167.

Die Fig. 165 stellt den Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft-Fahrdrahtisolator für gerade Strecken dar, Fig. 166 denselben von Siemens & Halske, Berlin. Fig. 167 zeigt die Anordnung eines

doppelten Fahrdrahtisolators der Aktien-Gesellschaft Elektrizitäts-Werke vorm. O. L. Kummer & Co. Die sämtlichen hier gezeigten Isolatoren können direkt in den Querdraht eingehängt werden, ohne denselben zerschneiden zu müssen. An dem letztgenannten Isolator wird derselbe zur Lage des Querdrahtes durch eine Stellschraube fixiert, sodass eine seitliche Verschiebung nicht mehr eintreten kann.

Die einfachste Methode, den gerade gerichteten Fahrdraht festzuhalten, ist die mittels Klemmbacken. Fig. 168 zeigt das Schema dieses Aufhängungsisolators. K bedeutet den Fahrdraht, Q den Querdraht. Sobald der Draht in seiner Längsrichtung ausgespannt ist, kann er zwischen die Backen geklemmt werden. (Vergl. auch Fig. 164 und 165.

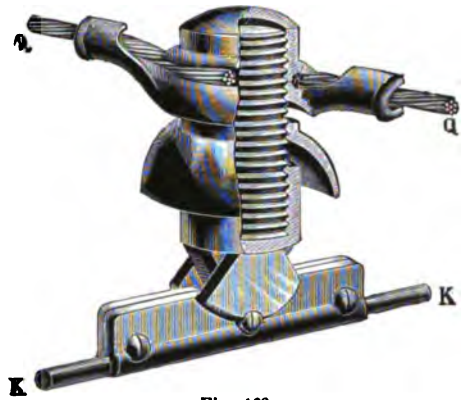


Fig. 168.

Bei der Konstruktion, welche nur Lötung als endgiltige Befestigung vorsieht, muss natürlich beim Spannen des Fahrdrahtes besondere Sorgfalt angewandt werden. Zunächst darf der Draht



Fig. 169.

nicht ausgeklopft werden, sondern muss durch ein geeignetes Walz- oder Ziehwerk, das für die Montage leicht handlich sein muss, gerade gerichtet werden. Wird der Draht dann durch Flaschenzug in geeigneter Höhe straff gespannt, so benutzt man die durch Fig. 169 gezeigten Klauen a zum vorläufigen Festhalten. Dieselben werden so umgebogen, dass sie den Fahrdraht eng umschliessen, eventuell wird der Drahthalter und der Fahrdraht noch durch Bindedraht so lange gehalten, bis die Lötung vorgenommen werden kann.

Nach dieser Lötung werden die Klauen a an der unteren Seite derartig abgefeilt, dass der Wagenkontakt glatt daran vorbeischleifen kann. Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass diese so elegant aussehende Fahrdrahtbefestigung den grossen Nachteil besitzt, dass der hartgezogene Kupferdraht bei der Lötung durch unvorsichtiges

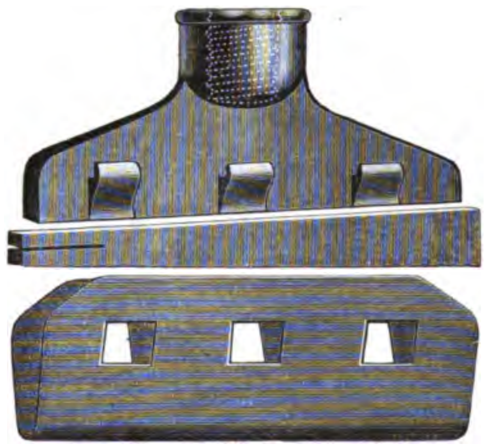


Fig. 170.

Warmmachen seine hohe Festigkeit verliert und dadurch eine seiner besten Eigenschaften einbüsst. (Vergl. Drahtfestigkeit Seite 195.)

Bei der dritten Befestigungsart befindet sich weder Schraube noch Lötung. Der Fahrdraht wird vielmehr nur in ein geeignetes,

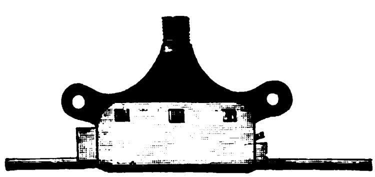


Fig. 171.



Fig. 172.

gebogenes Blech gelegt, welches, der Fig. 170 und 171 gemäss, in das Oberteil eingehängt wird. Der Fahrdraht wird dann durch den Keil festgehalten. Fig. 172 zeigt den fertigen Halter dieser Konstruktion. Die in Fig. 166 und 167 gezeigten Isolatoren fassen den Fahrdraht ebenfalls durch Unterlegebleche.

Durch Fig. 173 und 174 werden noch weitere Drahthalterkonstruktionen dargestellt, bei denen weder Schrauben, noch Lötung,

noch Keil erforderlich sind. Durch Fig. 175 wird ein Halter gezeigt, der den Fahrdraht ungemein fest hält, dem Wagenkontakt jedoch

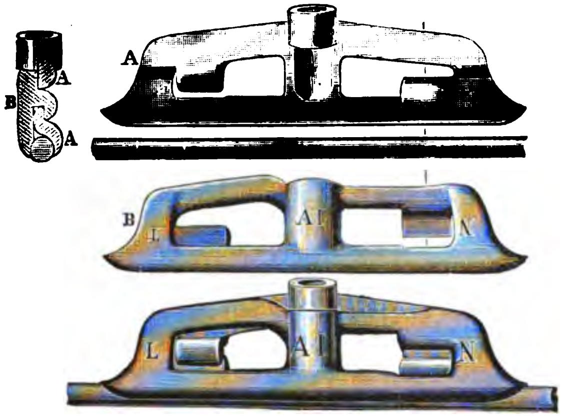


Fig. 173.

stets einen schädlichen vertikalen Stoss erteilt. Die vorstehenden Hänger sind nur für gerade Strecken anwendbar. In Kurven würden



Fig. 174.

dieselben den seitlichen Beanspruchungen nicht genügen können. Im Gegensatz zu den Hängern werden alsdann Spanner angewandt. Der seitliche Kurvenzug nach aussen muss durch den Fahrdraht selbst aufgenommen werden. Die Spannerkonstruktion

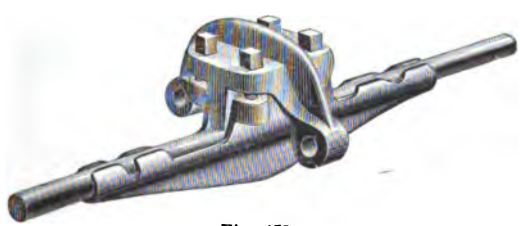


Fig. 175.

muss indess auf den Wagenkontakt Rücksicht nehmen, sodass, je nachdem dieser durch Rolle oder Bügel gebildet wird, der Spanner zweifacher Art sein kann.

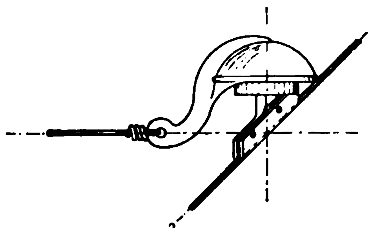


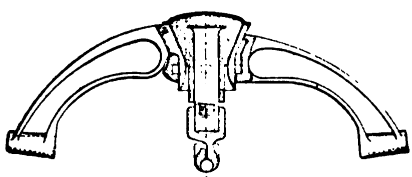
Fig. 176.



Fig. 177.

Fig. 176 zeigt einen einseitigen Kurvenspanner für die Rolle schematisch. Der heruntergebogene Arm dient dazu, das in der Kurve sonst auftretende Drehmoment, hervorgerufen durch den nach innen zustrebenden Fahrdraht, aufzunehmen. Die Mittellinie des Spanndrahtes bezw. Querdrahtes muss durch den Mittelpunkt des Fahrdrahtes gehen. Körperlich stellt Fig. 177 den Kurvenhalter dar, während Fig. 178 den einseitigen, Fig. 179 den doppelseitigen Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft-Kurvenisolator in zeichnerischer, und 180 und 181 in bildlicher Darstellung zeigt. Fig. 182, 183 u. 184 ist für doppelten Fahrdraht eingerichtet. Diese Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft-Isolatoren sind

Fig. 179.



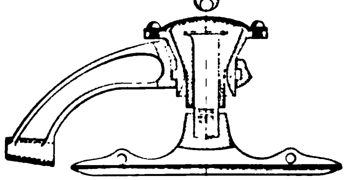


Fig. 178.

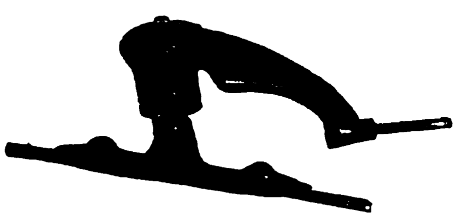


Fig. 180.

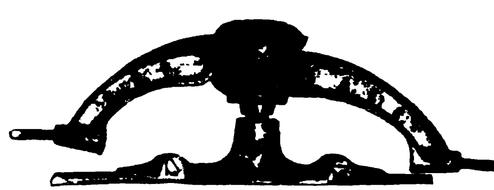


Fig. 181.

äusserlich für jede Art der Zusammenstellung als einseitige, zweiseitige, doppelte, gerade und schiefe Aufhängungen verwendbar und erleichtern so die Montage.

Für den Bügelkontakt muss der Fahrdraht K stets unterhalb des Querdrahtes Q liegen, damit verhindert wird, dass der Bügel an den Querdraht anschlägt. In der geraden Strecke hat diese Bedingung keine Bedenken, in der Kurve jedoch muss man sich anders helfen, um den seitlichen Zug des Fahrdrahtes abzufangen, vergl. Fig. 146.

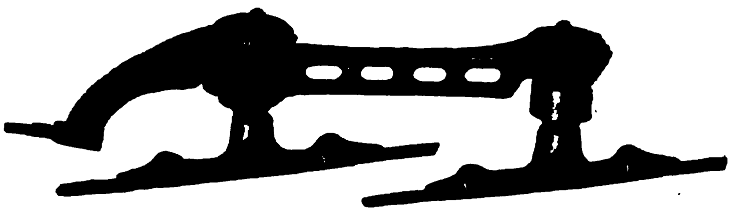


Fig. 182.

Fig. 185 zeigt ein- und zweiseitige Kurvenisolatoren für einfachen und doppelten Fahrdraht nach den Modellen von Siemens

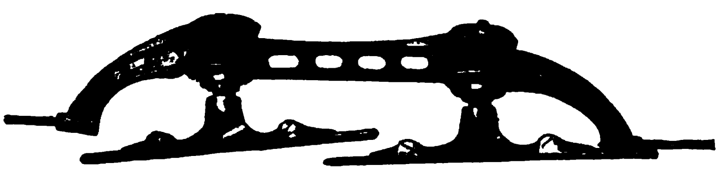


Fig. 183.

& Halske, Aktien-Gesellschaft, Berlin. Hier wird der Fahrdraht in den oberen Halter eingelegt, damit Querdraht und Fahrdraht

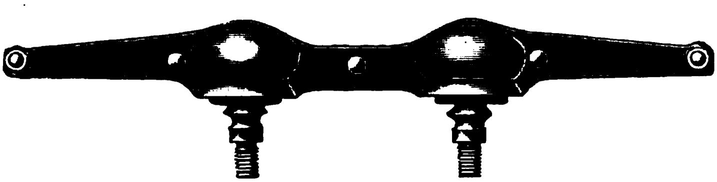


Fig. 184.

in nahezu gerader Linie liegen. In das untere Befestigungsstück wird der Beidraht gelegt, welcher den Zweck hat, den Bügel nach unten zu drücken, damit er selbst bei schiefer Lage des Bügels nicht an den Querdraht und dessen Befestigung anstossen kann. Der in Fig. 186 dargestellte Kurvenisolator entspricht dem Modell der Aktien-Gesellschaft Elektrizitäts-Werke vorm. O. L. Kummer & Co.

Hier ist der Isolator für die Abspannung in Kurven mit einem schräg nach aufwärts gerichteten Arme versehen, sodass durch den Zug der Querdrähte ein dem Kurvenzug des Fahrdrahtes entgegengesetztes Drehmoment erzeugt wird, unter dessen Wirkung der Isolator in senkrechter Lage gehalten wird.

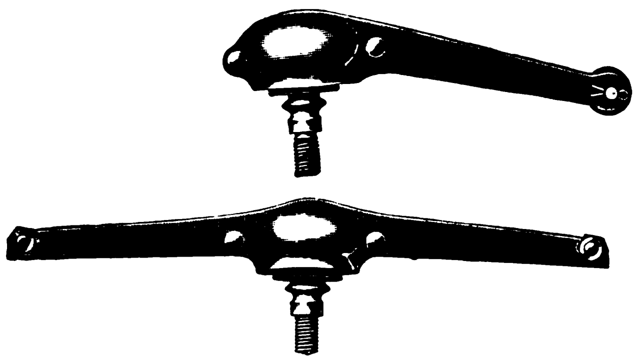


Fig. 185.

Damit für die verschiedenen Kurven ein und dasselbe Modell Verwendung finden kann, ist der schräge Arm mit mehreren Auflage-



Fig. 186.

haken für den Querdraht versehen. Durch entsprechende Auswahl unter diesen kann das erzeugte Drehmoment dem jeweiligen Kurvenzug gemäss in einfachster Weise geregelt werden (D. R. P.).

k) Querdraht und Ankerdrahtisolatoren.

Eine zweite Isolation wird im Querdraht selbst angebracht. Als eine sehr einfache, aber immer seltener angewandte Isolation ist die Porzellannuss zu bezeichnen. Dieselbe ist in ihrer Grundform eine

Kugel. Die Enden des an dieser Stelle unterbrochenen Querdrahtes werden zu Drahtschlingen umgebogen, welche rechtwinkelig zu einander die Porzellankugel umfassen. Die für alle Isolatoren, welche in freier Luft hängen, charakteristische Tropfkante wird durch Vorsprünge gebildet, wie dieselben durch Fig. 187 dargestellt sind. Die

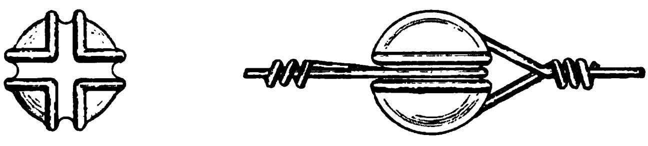
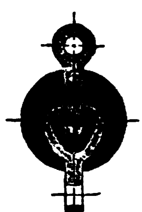


Fig. 187.

Porzellankugeln setzen Staub und Schmutz an, sodass dieselben von Zeit zu Zeit gesäubert werden müssen. Das Porzellan wird nur



G. M. Sch. 53864.

Fig. 188.

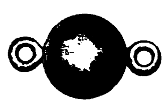


Fig. 189.

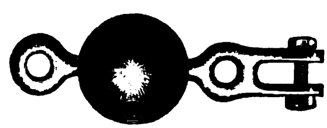


Fig. 190.

auf Druck beansprucht und kann somit den auftretenden Zugkräften widerstehen.



Fig. 191.

Eine ähnliche Konstruktion wird durch die Fig. 188, 189, 190 dargestellt, deren innere Einrichtung den in Fig. 191 und 192 in Ansicht und Schnitt gezeigten Querdrahtisolatoren entspricht. Die Bilder sprechen für sich selbst. Diese Isolatorenart besitzt keine Tropfkanten, wie die Fahrdrahtisolatoren. Es kann daher eine feuchte Oberflächenbeschaffenheit den Isolationswert vermindern. Aus diesem Grunde hat die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft ihre Quer-

drahtisolatoren mit einer aus Fig. 193 ersichtlichen Tropfkante versehen. Dicht an der Hausrosette, welche in sich ebenfalls mit ge-

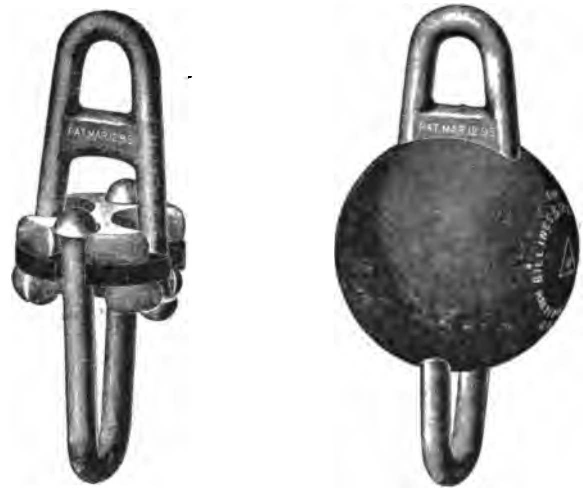


Fig. 192.

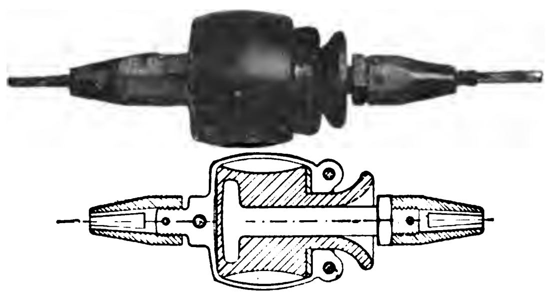
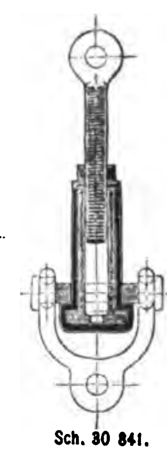


Fig. 193.



Sch. 30 841.

Fig. 194.

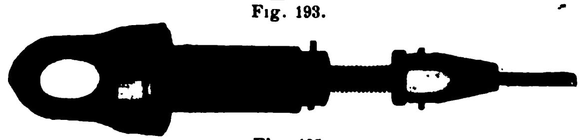


Fig. 195.

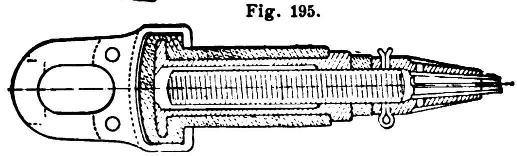


Fig. 196.



Fig. 197.

eigneter Isolationsschicht versehen sein kann, oder am Mast verwendet man die in den Fig. 194, 195, 196 und 197 dargestellten Hülsen isolatoren.

Dieser Hülsenisolator wird aus einer metallischen Hülse gebildet, in welcher eines der gebräuchlichen Isoliermittel steckt. In diesem Isoliermittel liegt centriert die nachlassbare Befestigungsöse für den Querdraht.

Wohnhäuser, welche nicht in allen Gegenden aus festem Steinbau aufgeführt sind, lassen ein unangenehmes Geräusch vernehmen,

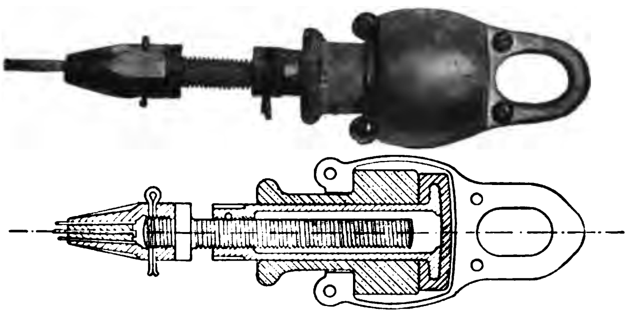


Fig. 198.

wenn Hausrosetten ohne besondere Schalldämpfung zur Aufnahme des Querdrahtes dienen. Sei es nun, dass durch den reibenden Kontakt eines Bügels oder durch die seitlichen Schläge einer Rolle der Fahrdraht in Schwingungen versetzt wird, in jedem Falle verlangen die Inwohner, von dem Geräusch möglichst verschont zu bleiben. Durch Einschaltung von geeigneten Gummihülsen zwischen dem Isolator und dem festen Teile der Hausrosette ist diesem Übelstande abgeholfen, sodass selbst pessimistische Hauswirte und Einwohner sich völlig befriedigt haben. Durch die Fig. 198 sind die gebräuchlichen Antivibrations-Konstruktionen der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft schematisch und bildlich gekennzeichnet.

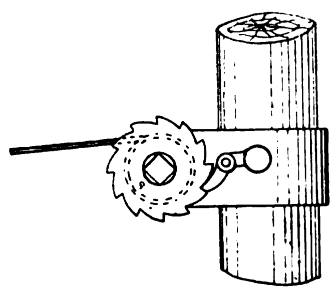


Fig. 199.

Zwischen Isolationsschicht und Isolatorkörper befindet sich noch eine dicke Gummizwischenlage. Sofern auch diese Schalldämpfung nicht genügt, kann noch der in Fig. 191 bezeichnete Isolator eingeschaltet werden, wobei man die Isolationsschicht aus weichem Gummi macht.

Bei allen Querdrahtaufhängungen macht sich das Bedürfnis bemerkbar, den Querdraht selbst mitunter nachspannen zu können, teils um die Höhenlage, teils um die Seitenlage des Fahrdrahtes zu regulieren. Fig. 199 stellt dar, wie die Spannung durch das Sperr-

rad S erhalten bleibt. Eine neue und gefällige Konstruktion der Allg. El.-Ges. zeigt Fig. 196, während Fig. 200 Anwendung bei Fahrdraht-Endverspannungen, an Anker- und Nachspanndrähten findet.

Da als Querdrähte auch Drahtseile Verwendung finden, dient für deren nachspannbare Endbefestigung folgende Vorrichtung: Besteht z. B. das Seil aus sieben Litzen, so sind diese Litzen im Querschnitt so angeordnet, wie Fig. 201 zeigt. Die mittelste Litze wird durch einen Konus K gezogen und das vorgestreckte Ende zu einer Öse umgebogen (Fig. 202) Alsdann werden die aussenliegenden Litzen

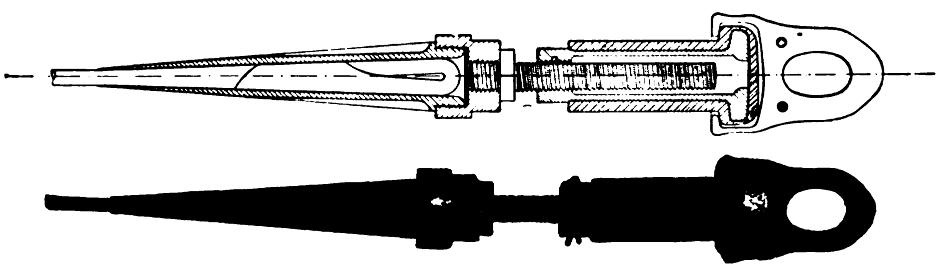


Fig. 200.

um den Konus herumgelegt und die zuvor eingefädelte Hülse H darüber geschoben. Eine aufgeschraubte Kappe M bildet den Verschluss nach hinten und zugleich die Aufhängungsöse u. s. w. Durch den Zug des Seiles zieht sich naturgemäss der Konus, der ausserdem mit Querrippen versehen sein kann, immer fester in die Hülse hinein und presst die dazwischenliegenden Drähte zusammen.

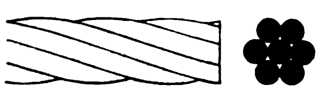


Fig. 201.

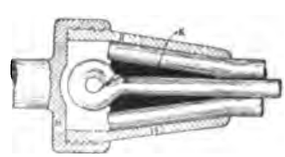


Fig. 202.

l) Fahrdrahtverbinder.

Fahrdrahtverbinder dienen einmal dazu, um die Fabrikationslängen, wenn sie mitten auf der Strecke enden, aneinander zu reihen, und zum anderen Male, um gerissene Drahtenden wieder zu verbinden. Zu verwerfen sind auch hier wieder alle diejenigen Kuppelungsmuffen, welche Lötungen erfordern, weil durch das Warm- oder gar Heisswerden des Drahtes die Zugfestigkeit desselben in erheblichem Masse abnimmt.

Zwischen zwei Aufhängungspunkten liegende Verbinder haben eine Anordnung nach Fig. 203. Hier wird der Draht an den Aussenöffnungen eingeführt, an der Seitenöffnung ausgeführt, umgebogen und wieder zurückgeführt. Ausser diesen eignen sich die oberirdischen Drahtweichen zu Verbindungsstellen, was später näher beschrieben wird.

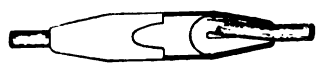


Fig. 203.

Reisst im Betriebe der Fahrdraht, sei es durch innere Fehler oder durch Zufälligkeiten und Mutwilligkeiten, so ist eine auf kaltem



Fig. 204.

Wege schnell einschaltbare Muffe durch folgende Fig. 204 gegeben. Hier werden die zerrissenen Drahtenden, nachdem sie in eine konische



Fig. 205.

Hülse gesteckt sind, zusammengebogen, sodass sie die ebenfalls konischen Öffnungen ausfüllen. Alsdann werden die Hülsen durch

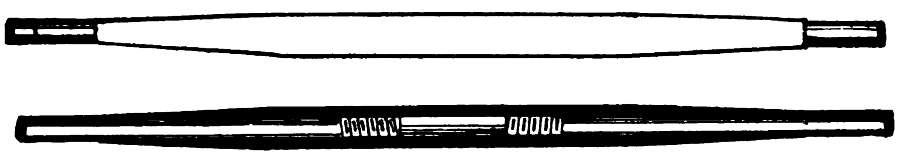


Fig. 206.

ein Mittelstück mit Rechts- und Linksgewinde zusammengezogen. Da die Muffe möglichst dünn und leicht sein muss, ist dieselbe aus Stahl oder Bronze zu fertigen. Um galvanische Vorgänge zwischen Stahlmuffe und Kupferdraht zu verhüten, empfiehlt sich eine galvanische Verkupferung der Muffe innen sowohl wie aussen. Dieser Muffe ähnlich ist die unter Fig. 205 dargestellte, woselbst die zerrissenen Drahtenden durch Hämmern verdickt werden müssen. Fig. 206 zeigt eine Konstruktion, bei der die Enden mit Rechts- und Linksgewinde versehen werden müssen, um in die Verbindungshülse ein geschraubt werden zu können,

m) Fahrdraht-Nachspannvorrichtung.

Die Notwendigkeit, den Fahrdraht im Winter nachlassen, im Sommer zusammenziehen zu können, erfordert Nachspannvorrichtungen. Je nachdem nun diese Fahrdrahtspannvorrichtungen in geringeren oder weiteren Abständen montiert sind, werden sie einen grösseren oder geringeren Hub zu überwinden haben. Konstruktiv ähneln diese Vorrichtungen den bekannten Schraubenschlössern mit einer Rechts- und Linksgewindemutter. Die stosslose Überführung des Fahrkontaktes muss durch eine geeignete Überbrückung erfolgen. Fig. 207 zeigt eine Spannvorrichtung dieser Art nach Muster Siemens & Halske und Fig. 208 desgleichen der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft.

n) Streckenisolatoren.

Um zwei Strecken (Fig. 209) voneinander unabhängig zu machen, d. h. um zu erreichen, dass Wagen II noch Strom erhält, wenn auf der vorliegenden Strecke, wo Wagen I fährt, irgend ein Kurzschluss durch herabgefallenen Draht u. s. w. eingetreten ist, schaltet man zwischen die Strecken I und II einen Streckenisolator S, welcher so konstruiert sein muss, dass die dem Wagenkontakt gebotene Kontaktfläche nicht unterbrochen wird, dass ferner der Zug in Richtung des Fahrdrahtes beiderseits aufgenommen wird, unter Vermeidung schädlicher Hebelarme, und dass endlich bei auftretender Spannungsdifferenz an den Fahrdrähtenden eine Funkenbildung vermieden wird.

Über die Lichtbogenlänge starker Stromunterbrechungen bei 500 Volt Spannung haben angestellte Versuche ergeben, dass die Entfernungen, die bei der Konstruktion und Installation der Stromkreisunterbrecher



Fig. 207.

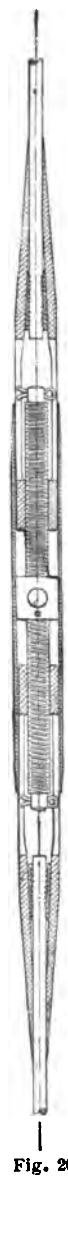


Fig. 208.

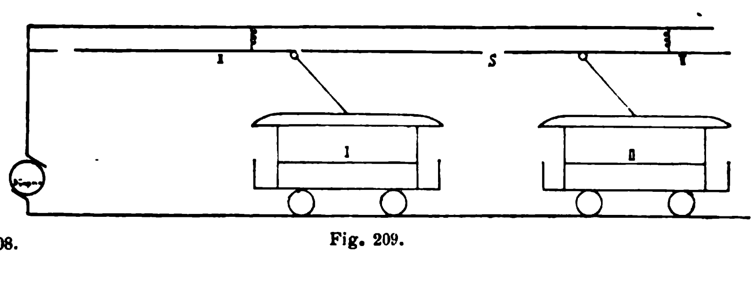


Fig. 209.

innegehalten werden müssen, um die Bildung eines Lichtbogens zu verhüten, folgende sein müssen:

Stromstärke in Ampère	Maximum der Entfernung, bei welcher der Lichtbogen sich bildet	Geringste Entfernung, bei der ein Lichtbogen erlischt	Entfernungen, die bei der Konstruktion vorzusehen sind
10	6 *mm*	12,7 *mm*	25 *mm*
20	12,7 »	18,7 »	50 »
30	50,8 »	50,8 »	70 »
40	50,8 »	57,0 »	85 »
50	57,0 »	63,0 »	90 »
60	76.2 »	82,2 »	95 »
70	76,2 »	88,5 »	100 »
80	82,2 »	88,5 »	105 »
90	88,5 »	94,5 »	110 »
100	94,5 »	101,6 »	115 »

Bedingung für die Anordnung der Streckenisolatoren ist natürlich, dass die in Sektionen eingeteilte Fahrleitung von einer besonderen Speiseleitung an bestimmten Stellen mit Strom versorgt wird.

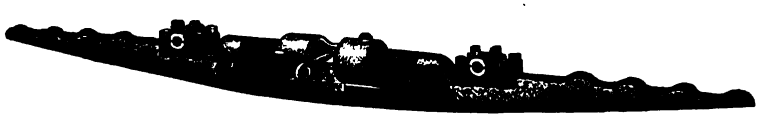


Fig. 210.

Das englische Gesetz bestimmt, dass bei Luftleitungen, welche eine Länge von mehr als 800 *m* besitzen, Vorrichtungen vorzusehen

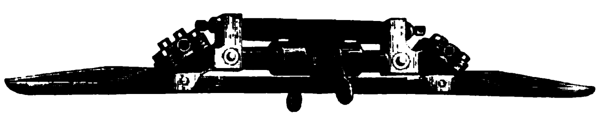


Fig. 211.

sind, durch welche die in der Nähe von Gebäuden verlaufenden Teile der Leitung bei Feuersgefahr oder dergl. ohne Zeitverlust ausser Verbindung mit der Stromquelle gebracht werden können. Diese Bedingung erfordert, dass jeder Streckenisolator mit einem vom Erdboden aus leicht erreichbaren Ausschalter versehen wird.

Bei uns ist es üblich geworden, die Streckenisolatoren in Entfernungen von ungefähr 500 *m* vorzusehen.

Die bekanntesten Ausführungen für Streckenisolatoren sind die unter Fig. 210—215 dargestellten.

Die Isolationsstücke sind entweder leicht auswechselbare, gut imprägnierte Holzstücke (Fig. 211 und 214) oder andere, billige

Isolationsmaterialien, oder es sind abwechselnd aneinander gereihte Kupfer- und Glimmerscheiben von 1—2 *mm* Dicke (Fig. 213 u. 215).

In beiden Fällen müssen die stromführenden Fahrdrahtenden so weit auseinander stehen, dass ein selbst unter Leitungskurz-



Fig. 212.

schluss entstehender Strom, bezw. ein solcher, der dem Stations-Automaten entspricht, nicht bestehen bleiben kann. (Vgl. vorstehende Tab.)

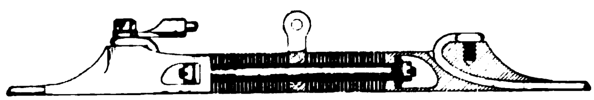


Fig. 213.

Diese Bedingung lediglich durch entsprechende Entfernung der Pole zu erreichen, ist äusserst schwierig, daher hat man zu anderen

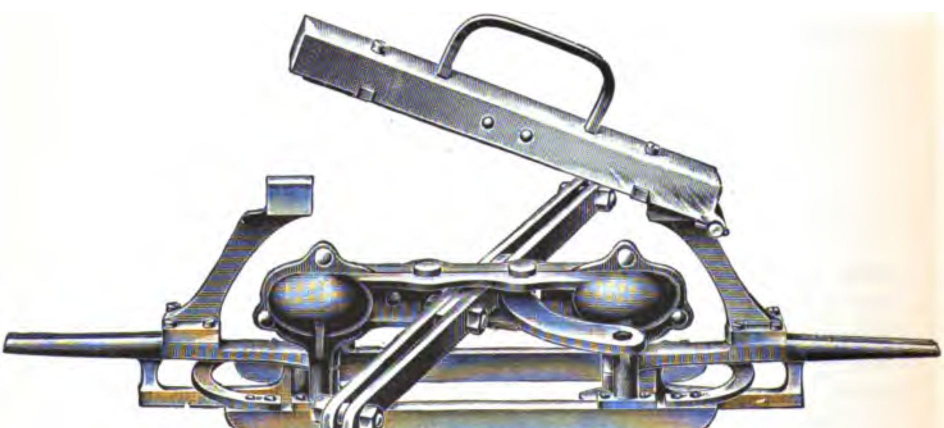


Fig. 214.

Mitteln greifen müssen. So z. B. teilt man durch die genannte Scheibenanordnung den Übergangsfunken in sehr viel kleine Teile, sodass derselbe keine grossen Wärmewirkungen mehr ausüben kann

und die Kraft zum Bestehenbleiben verliert. Die Isolationsscheiben können auch durch geringe Luftzwischenräume ersetzt werden und bleibt die Wirkung alsdann die gleiche wie vorher. Ob die, durch Aufeinanderfolge verschiedener Leitungsmaterialien erfolgende Variation der spezifischen Stromdichten eine Löschung des Funkens begünstigt, bleibt noch zu ergründen. Die mit so gutem Erfolge an Schaltapparaten durchgeführte magnetische Funkenlöschung hat man bei Streckenisolatoren noch nicht angewandt. Es würde indess eines Versuches wert sein, die mit dem Siemens'schen Hörnerblitzableiter gemachten guten Erfahrungen bezüglich der Funkenlöschung auch auf den Fahrdraht-Streckenisolator zu übertragen, wobei die Funkenlöschung, begünstigt durch die aufsteigende warme Luft, erfolgt. Stobrawa hat sich mit einigem Erfolge dieser Frage bereits zugewandt, indem er an die gewöhnlichen Streckenisolatoren seitlich aufsteigende Drahthörner anbrachte. Wenn dem Wagenführer die Stellung der Streckenisolatoren auf der Strecke bekannt sind, so soll er die ersteren zwar ohne Strom unterfahren, indessen können auch die Verhältnisse so liegen, (des Abends, auf längeren Steigungen, beim Wiederanfahren von zufällig unterm Streckenisolator stehengebliebenen Wagen), dass der Streckenisolator die volle Betriebsstromstärke erhält. Er muss also für diese Beanspruchungen in jedem Falle konstruiert sein.

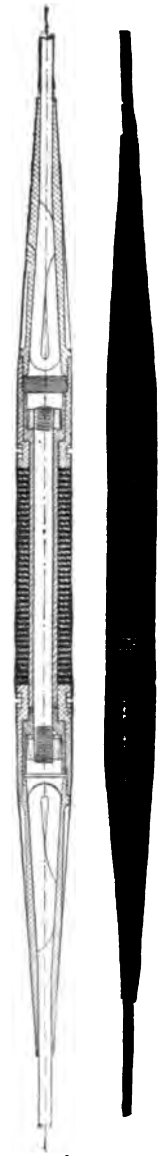


Fig. 215.

Befinden sich die Streckenisolatoren in einem verzweigten Netze, so kann man auf besondere Speiseleitungen verzichten, lässt vielmehr die hinter diesem Isolator befindliche Strecke durch eine andere Fahrleitung speisen, wenn der Fahrdraht durch den betreffenden Isolator und Streckenschalter abgeschaltet ist. Streckenisolator und Streckenschalter kann man auch vereinigen. Dann muss der Schalter mittels einer Stange bedient werden.

o) Fahrdrahtweichen.

Die für die Rolle notwendigen Weichen erfordern eine ganz besondere Art der Aufhängung, wenn sie ein Ausspringen des Wagenkontaktes gänzlich verhindern sollen. Naturgemäss ergiebt sich, dass die Fahrdrahtweiche erst

dann von der Rolle befahren werden darf, wenn durch die Gleisweiche dem Wagen bereits die einzuschlagende Richtung gegeben worden ist. Die genaue Lage der Fahrdrahtweiche zur Gleisweiche wird neben diesem Umstande noch von der Länge der Kontaktstange abhängen, bezw. von der Lage der Rolle zur hintersten Wagenachse und diese relative Lage ist natürlich eine andere bei zweiachsigen und bei vierachsigen Wagen, bei 5 *m* und bei 6 *m* hohem Fahrdraht u. s. w. Liegt die Gleisweiche derartig günstig, dass eine Richtungsänderung des Gleises nur in der einen Fahrtrichtung erfolgt, wie dies Fig. 216 darstellt, dann ist nur für die

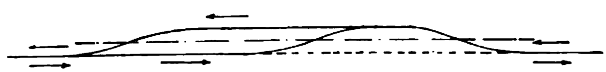


Fig. 216.

Weichenausfahrt die Fahrdrahtweiche entsprechend zu legen, d. h. geht der einfache Fahrdraht an der Weichenspitze in doppelten über, so bleibt, wenn der Wagen gegen die Weichenspitze fährt, die Richtung des Wagens unverändert, und es ist gleichgiltig, wo für diese Fahrtrichtung die Fahrdrahtweiche liegt. Im andern Fall, sobald der doppelte Fahrdraht wieder in den einfachen übergeht, kann ein Verlaufen der Rolle nicht eintreten, selbst wenn der Wagen sich noch nicht in der für die Fahrdrahtweiche gün-

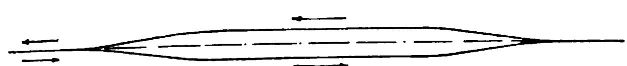


Fig. 217.

stigsten Stellung befindet, weil bei der bekannten Konstruktion der Luftweichen die Seitenwände derselben führend sind und die Rolle zum richtigen Weichenauslauf zwingen.

Hat man symmetrische Weichen zur Verfügung, wie etwa die in Fig. 217 bezeichnete, so muss man beide Fahrdrahtweichen über den Drehpunkt der Gleisweiche montieren, wenn die Rollen sich nur um eine parallel zu den Wagenachsen horizontale Achse drehen, bezw. wenn sich durch Beeinflussungen der Rolle keine Schwenkungen der Rollenstange um eine vertikale Drehachse bewerkstelligen lassen. Bei dem Dickinson'schen System braucht man die Abhängigkeit der Fahrdrahtweiche von der Gleisweiche nicht einzuhalten. Der Fahrdraht liegt hier meistens neben dem Gleise und die Rollenstange hat auf die einzuschlagende Richtung der Rolle keinen Einfluss. Es ist alsdann leicht, die Fahrdrahtweiche für den Weicheneinlauf ohne Rollen-Richtungsänderung befahren zu lassen und den

Auslauf, wo die Entgleisungsgefahr wesentlich geringer ist, mit der notwendigen Richtungsänderung zu versehen,

Eine Verankerung und Verspannung des Weichendrahtes ist in Fig. 218 dargestellt, wobei zugleich die Weichenanordnung für den Bügelkontakt ersichtlich wird.

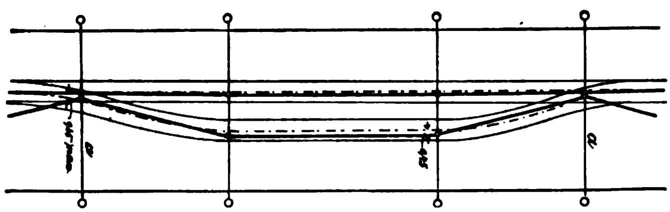


Fig. 218.

Wird der Kontakt durch den Schleifbügel bewirkt, so fallen die besonderen Luftweichen bekanntlich gänzlich fort.

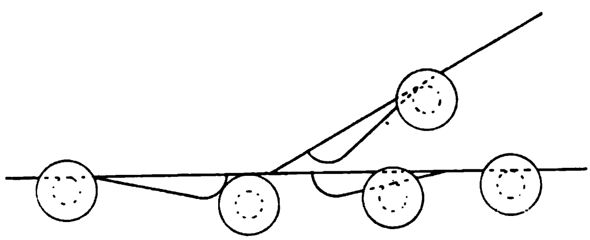


Fig. 219.

Die Fahrdrahtweichen müssen der Rolle gestatten, sowohl den durchgehenden Draht zu benutzen, als auch in die Abzweigung ohne

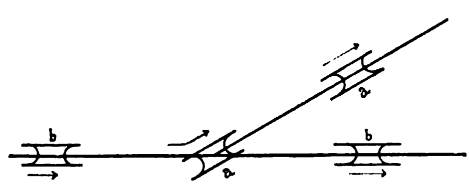


Fig. 220.

Bewegung einer Zunge oder ohne besonderen Druck übergehen zu können. Man erreicht dies, indem man am Weichenmittelpunkt den Rollenkörper von der Fahrdrahtfläche abgehen lässt und dem Rollenflansch die Führung und den Kontakt überlässt. (Fig. 219.) Die für den Weicheneinlauf richtige Rollenstellung zeigt Fig. 220. Zum Überfluss bringt man mitunter an dem Weichenkörper noch

seitliche Führungsflanschen an, damit nach Möglichkeit der Entgleisungsgefahr vorgebeugt ist. (Fig. 221.)

Um zu erreichen, dass der durchgehende Draht nicht an der Weiche durchschnitten zu werden braucht, lässt man denselben gerade durchgehen und hängt gewissermassen die Weiche darunter



Fig. 221.

an, wie etwa Fig. 222 und 223 zeigt. Diese Anordnung ist jedoch bei schneller Fahrt fehlerhaft, da die Rolle nicht allmählich nach



Fig. 222.

unten gedrückt wird, sondern einen plötzlichen Schlag nach unten erhält, wodurch ein starker Abreissfunke entsteht, und die Rolle



Fig. 223.

erst dann wieder zurückgeschnellt ist, wenn die Weiche schon hinter ihr liegt. Es ist dann dem Zufall überlassen, ob die Rolle den Fahrdraht überhaupt oder mindestens, ob sie den richtigen Draht erreicht. Immer liegt in dieser Anordnung eine Entgleisungsgefahr. Bei der Konstruktion in Fig. 224 bleibt der Rollenschwerpunkt stets in gleicher Höhe. Der durchgehende Draht kann allerdings auch

durchgehend bleiben, muss aber mehrmals geknickt, bezw. gebogen werden, wodurch ein nachträgliches Verschieben der Weiche zwar erschwert ist, dagegen ein günstiger Verankerungspunkt des Fahrdrahtes gegeben ist.

Für die Weiche beim Dickinson'schen Oberleitungssystem gelten einige besondere Konstruktions- und Montagebedingungen.

Die Mattersdorf'sche Luftweiche für dieses System ist ebenfalls unter dem Fahrdraht aufgehängt und besteht nach Fig. 225 im

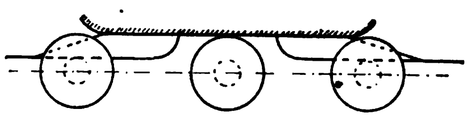


Fig. 224.

wesentlichen aus einem Führungsteil, welcher sich zu einem zweiten, die eigentliche Weiche bildenden Teil erweitert. Die Führung der längs des Fahrdrahtes ankommenden Rolle erfolgt sowohl von oben als seitlich und auch in der Nuth der Rolle, und zwar auf der ganzen Ausdehnung des geraden Führungsteiles. In diesem Führungsteil vollzieht sich ohne Stoss, weil sich der Schwerpunkt der Rolle in senkrechter Richtung nicht verschiebt, der Übergang des

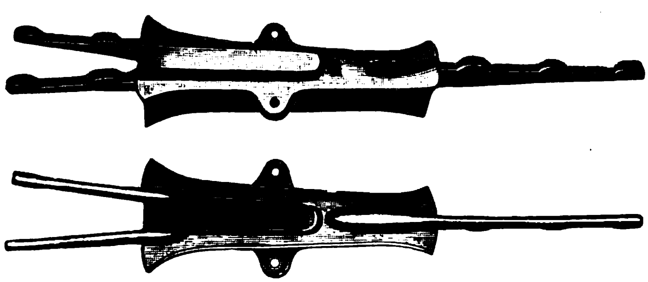


Fig. 225,

Rollenauflagers von der Rille auf den Flantsch. Der Führungsteil erweitert sich zur eigentlichen Weiche, welche mit zwei allmählich steiler ansteigenden schiefen Ebenen und einer Vertiefung ausgerüstet ist. Die Anordnung der Weiche ist dabei so getroffen, dass die Erdweiche um eine gewisse Strecke vor der Luftweiche liegt. Die grösste zulässige Entfernung der beiden Weichen ist durch die Länge des Kontaktarmes im Zusammenhang mit der zulässigen Entfernung des Fahrdrahtes von der Gleismitte bestimmt. Sobald also der Wagen über die Erdweiche gefahren ist und bereits nach der vorgeschriebenen Richtung zu fahren beginnt, erhält naturgemäss

der Kontaktarm eine Zugkraft in der Abweichrichtung des Wagens; die Folge davon ist, dass der Kontaktarm die Laufrolle in demselben Sinne beeinflusst. Wenn der Wagen nach rechts ausweicht und sich bereits auf dem rechten Gleis befindet, hat er die Erdweiche schon überfahren, und es liegt in der Natur der Sache, dass sowohl dem Wagen, als auch dem Kontaktarm die Neigung nach rechts erteilt ist.

Infolgedessen wird die Laufrolle nach rechts gedrückt, und der eine Flantsch der Rolle gleitet über die Vertiefung, während der andere Flantsch sich gegen eine schiefe Ebene legt und naturgemäss infolge der Berührung mit dieser einen Drehpunkt für die Laufrolle bildet, was zur Folge hat, dass die erwähnte Zugkraft des Kontaktarmes ein drehendes Moment auf die Rolle ausübt. Die Rolle, durch Federkraft nach oben getrieben, steigt auf der schiefen Ebene steil an, fängt sich in der neuen Nuthführung und wird in die gewünschte Weichenrichtung gezogen, sodass also der Übergang an der Abzweigungsstelle glatt und gefahrlos vor sich geht.

Es ist bei der Montage zu beachten, die Weiche für den Weicheneinlauf so zu hängen, dass die Stange eine mehr senkrechte Stellung zur Wagenachse einnehmen muss, und dann nicht mehr ausreicht, um auf dem falschen Draht weiterzuführen. Durch die Weiterbewegung des Wagens wird die Rolle alsdann zwangläufig in die neue Fahrtrichtung gezogen. Beim Weichenauslauf ist die Lage der Weiche weniger wichtig.

p) Fahrdrahtkreuzung.

Dieselben kommen da in Anwendung, wo sich zwei Fahrdrähte kreuzen. Analog den Weichenkonstruktionen fallen auch die Kreuzungen



Fig. 226.

aus. Der führende Seitenflansch wird hier recht zweckmässig durch einen Mitteldorn ersetzt, wie ihn Fig. 226 und 227 zeigt.

Eine eigenartige Kreuzung ist durch Fig. 228 dargestellt. Hier schafft sich die Rolle selbst in der einen Richtung eine geschlossene Bahn, indem bei Berührung des einen Winkelhebels auch der andere sich schliesst. In der anderen Fahrrichtung bedarf es einer Gleitbahnschliessung nicht.

Bei Anwendung des Bügelkontaktes erfordert die Konstruktion der Kreuzung ebenfalls eine Sonderheit, damit der Bügel nicht an

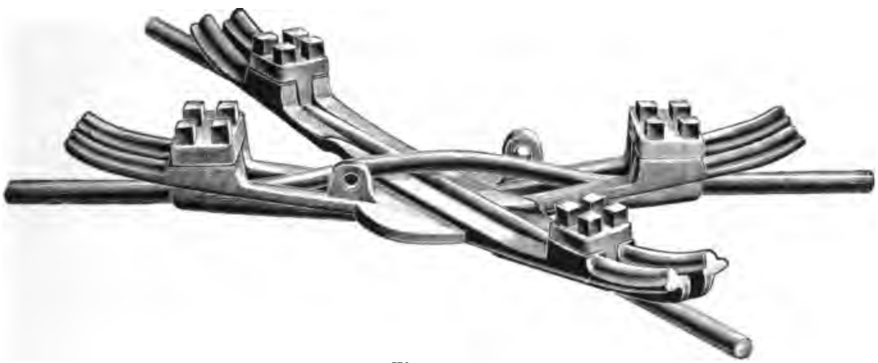


Fig. 227.

den kreuzenden Fahrdraht stösst. Fig. 229 deutet an, wie der Bügel durch die Kreuzung heruntergedrückt wird und dadurch verhindert wird, den kreuzenden Draht zu berühren. Die Stellungen I, II, III zeigen die fortgeschrittenen Stellungen eines Stromabnehmerbügels.

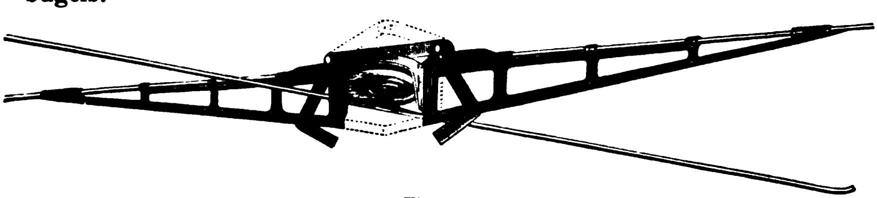


Fig. 228.

Wenn es sich darum handelt, eine Fahrdrahtkreuzung sowohl für Rollen- als auch gleichzeitig für Bügelbetrieb zu konstruieren, so sind folgende Grundsätze zu beachten:

Der Rollenflansch erfordert, wie wir soeben gesehen haben, stets eine Einkerbung an der kreuzenden Stelle. In diese Einkerbung würde naturgemäss der Bügel einfallen. Ein Schlag und ein Abreissfunke würden daher die Folge sein, welche beide zerstörend auf den Bügel und Fahrdraht einwirken. Der Konstrukteur findet, wenn er pendelnde Überbrückungen, Fallthürchen und andere durch den Wagenkontakt bewegte Teile (vergl. Fig. 228) für diese Kreuzung

anwenden will, verschiedene Möglichkeiten. Bedenkt man aber, dass selbst das einfachste Gelenk, wenn es auch nur 5 *m* hoch in der Luft hängt, Aufsicht braucht, um im guten Zustande zu bleiben, so muss diejenige Konstruktion entschieden den Vorzug erhalten, welche ein festes unbewegliches und äusserst einfaches Gefüge besitzt.

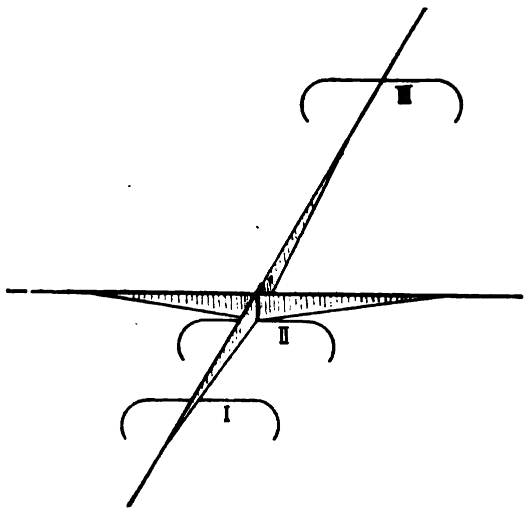


Fig. 229.

Dem Bügel genügt es schon, wenn seiner kontaktgebenden Fläche keine Vorsprünge geboten werden. Das Schema für die Bügel-

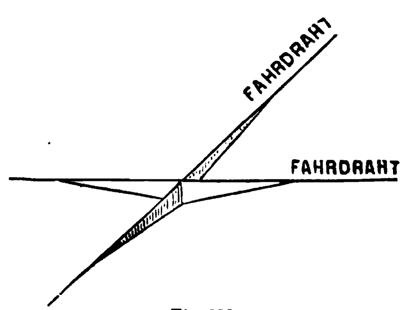


Fig 230.

kreuzung ist durch Fig. 230 gegeben. Ein Bild für die Rollenkreuzung ist durch die Figuren 226 und 227 gekennzeichnet. Bei der Rolle kommt es vor allem darauf an, dass der Rollenkörper oder der Flansch durch den Draht oder die Rippen der Kreuzung geführt wird. Eine Vereinigung der Fig. 230 und 219 ergiebt Fig. 231 mit folgenden Abweichungen von der obengenannten Regel: Die Rolle

bleibt nur bis zu der Stelle geführt, wo der kreuzende Draht sich befindet. Der Rollenkörper wird von der führenden Rippe abgehoben und überlässt den Flanschen den Kontakt. An der kurzen Strecke, an der die Rippenführung fehlt, könnte die Rolle allerdings entgleisen, wenn irgend eine seitliche Kraft auf dieselbe wirken würde. Um dies zu vermeiden, muss man sich die störenden Ursachen vor Augen führen. Einmal kann der Rollenkorb schief federn, was durch

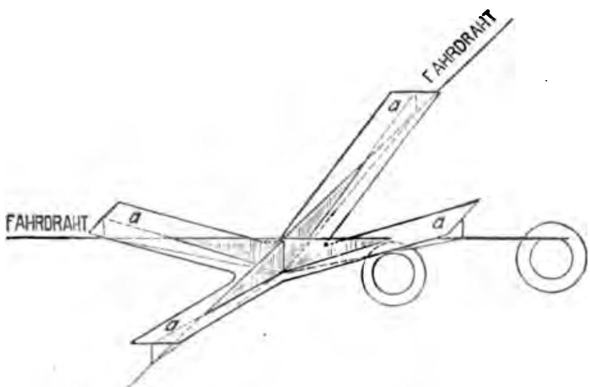


Fig. 231.

Geraderichten der Federn zu umgehen ist, zweitens kann ein Flansch mehr abgenutzt sein, als der andere, wodurch ein Kippen der Rolle beim Freiwerden erzeugt werden kann, drittens kann ein kräftiger



Fig. 232.

Vertikalschlag die Bewegungsrichtung des Rollenschwerpunktes verändern, und viertens können Wagenschwankungen an der Kreuzung seitliche Stösse verursachen. Es wird sich im praktischen Betriebe nicht vermeiden lassen, dass die Kreuzung schnell durchfahren wird, und daher sind alle Stösse zu vermeiden, besonders an der ungeführten Stelle, d. h. an der Stelle, an der der Rollenflansch über die Kreuzungsstelle geht. Es ist also erforderlich, alle unvermeidlichen Schläge möglicht abzuschwächen, und dies wird erreicht, indem die Kreuzung möglichst lang, z. B. 1 *m* lang, und die

Schrägung der Fläche a allmählich erfolgt. Eine Richtungsänderung an der Kreuzungsstelle muss natürlich vermieden werden.

Eine verstellbare und die beiden sich kreuzenden Fahrdrähte voneinander isolierende Kreuzung ist in Fig. 232 zur Anschauung gebracht.

q) Die Blitzschutzvorrichtungen.

Jede in der Luft ausgespannte blanke Leitung ist den, besonders bei Gewittern auftretenden, atmosphärischen Entladungen ausgesetzt. Solche Entladungen würden, wenn man ihnen nicht einen bequemen Ableitungsweg zur Erde bieten würde, durch die zwischen der Luftleitung (Fahrdraht) und der Erdleitung (Schiene) geschalteten Motoren und Dynamomaschinen gehen und dieselben zerstören, da die diesen Apparaten gegebenen Isolationen den hohen Spannungen des Blitzes nicht widerstehen können.

Gegen diese Einwirkungen atmosphärischer Entladungen wendet man Blitzableiter an, welche am Mast befestigt, mit dem einen Pol an den Fahrdraht mit dem anderen an die Fahrschiene bezw. an das Grundwasser angeschlossen sind. Die innere Konstruktion derselben verhindert nach Möglichkeit einen Kurzschluss des Betriebsstromes, ohne deshalb dem Blitz die Erdentladung zu versperren. Obgleich sämtliche Wagen mit Blitzschutzvorrichtungen versehen sind, bleibt es nicht erspart, auch die Oberleitung mit diesen Apparaten auszurüsten. Während der Betriebszeit würden die Wagensicherungen vollständig genügen, indess muss auch während des Nachts, wo bekanntlich die meisten atmosphärischen Entladungen auftreten, die Fahrdrahtleitung geschützt sein, weil sonst die Isolatoren beschädigt werden können.

Wie viel Blitzableiter und an welchen Stellen sie angebracht werden sollen, richtet sich lediglich nach den örtlichen Verhältnissen. Zunächst sollen die Stellen geschützt werden, wo Luftleitungen in Gebäude eintreten. Bei der Maschinenstation empfielt sich dies umsomehr, als hier eine dauernde Beaufsichtigung leicht möglich ist. Ferner sollen nach Möglichkeit Kabel, die mit Luftleitungen zusammenhängen, und Transformatoren geschützt werden. Die Anzahl der Blitzableiter wird sich, abgesehen von der Ausdehnung der Anlage, besonders darnach richten, ob viel und heftige Gewitter auftreten.

Im allgemeinen ist die Ansicht vorherrschend, dass man zweckmässiger die Blitzableiter in der Mitte der freien Strecke zwischen zwei Streckenisolatoren in einer Entfernung von z. B. 1000 *m* voneinander anbringen soll, und nicht an Stellen, wo die Streckenausschalter sich befinden oder wo an den Masten die Oberleitung zum Ausschalter hinunter und dann wieder nach der oberen Leitung

hinaufgeführt werden muss. Die atmosphärische Entladung könnte nämlich den Umweg, der durch die Schleife hervorgerufen wird infolge der etwa entstehenden Selbstinduktion nicht sicher überwinden, während diese Befürchtung in der Mitte der Strecke nicht bestehen würde, da alsdann keine direkten Schleifen in die Blitzleitungen einzuschalten sind.

Der Konstruktionsgrundsatz für Blitzableiter beginnt bei der Betrachtung, dass der hoch gespannte Blitzstrom leichter bei einem hohen Widerstand direkt zur Erde überspringt, als dass er durch die Windungen eines Solenoids, z. B. durch die Windungen des Ankers oder der Magnetschenkel geht, woselbst ihm durch die auftretende Selbstinduktion ein hoher Widerstand entgegentritt. Die Blitzableiter dürfen, obgleich sie dem Blitz Erdschluss ermöglichen müssen, keinen Kurzschluss des Betriebsstromes zwischen Oberleitung und Erdleitung begünstigen, was bei Bahnen, die stets mit einem Pol an Erde liegen, besondere Konstruktionen nötig macht.

Da es nicht möglich ist, eine systematische Erprobung für die Konstruktion der Apparate durchzuführen, weil wir nicht imstande sind, uns künstliche Blitze herzustellen, welche annähernd die wirklichen Verhältnisse zur Darstellung bringen und zum Studium tauglich machen, ist die Lösung der gestellten Aufgabe eine schwierige.

Von dem gegen Erde zweimal isolierten Fahrdraht führt eine isolierte Zweigleitung bis zum Aufhängungspunkt (Mast oder Hausrosette), woselbst der Anschluss an den Blitzableiter erfolgt. Das Drahtnetz, bestehend aus blanken Querdrähten u. s. w., ist gegen die Erde ebenfalls noch isoliert und daher müsste auch dieses den Blitz leicht ableiten können. Da aber der benachbarte Fahrdraht blitzableitend gemacht wird, kann man auf den Blitzschutz der Querdrähte verzichten.

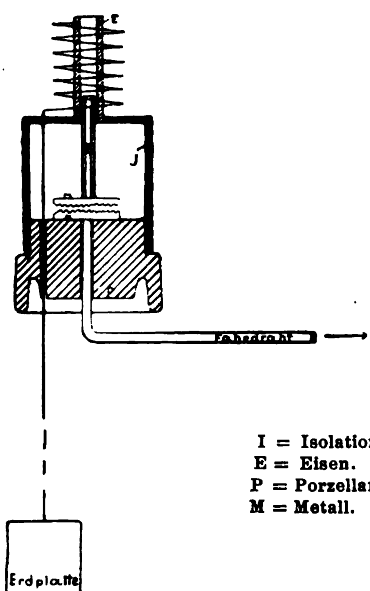
Die Konstruktion gebräuchlicher Blitzableiter sei hier kurz registriert. Alle haben gemeinsam, dass die Betriebsspannung einen äusserst hohen Widerstand zur Erde zu überwinden hat, während die hohe Spannung des Blitzes denselben leicht überspringt.

Der Ausgleich mit der Erdelektrizität erfolgt durch Anschluss an die Fahrschienen und durch Erdplatten, welche tief in feuchtes Erdreich eingelassen sein müssen. Der Erdleitungsdraht soll ohne Krümmungen, möglichst direkt zur Erde gehen.

Die Einrichtung des alten Siemens'schen Blitzableiters mit selbstthätiger Funkenlöschung ist durch Fig. 233 dargestellt. Sobald der Blitz zwischen den Spitzen überspringt, bleibt der Lichtbogen be-

stehen. Der Blitzstrom hinterlässt durch den Lichtbogen Erdschluss und erregt durch den nachfolgenden Arbeitsstrom den Magneten, welcher vermöge seiner Anordnung die Spitzen soweit auseinander zieht, bis der Lichtbogen erlöscht. Wenn die Spitzen nicht beschädigt worden sind, so wird nach Verlöschen der ursprüngliche Zustand wieder eintreten und zur neuen atmosphärischen Entladung bereit sein. Ist indess Metall abgeschmolzen, so würde beim Zurückgehen Erdschluss möglich sein, was bei den hohen Betriebsspannungen Beschädigungen der Anlagen hervorrufen kann.

Eine verbesserte Konstruktion stellt der **Siemens & Halske'sche** Blitzableiter mit Funkenlöschung durch Öl dar, wie er schematisch durch Fig. 234 u. 235, bildlich in Fig. 236 gezeigt wird. Parallel zur Spule Sp ist noch eine zweite Funkenstrecke geschaltet, während die erste Funkenstrecke der Spule vorgeschaltet ist. Die Funken springen zwischen den Kohlenstiften K über.



I = Isolation.
E = Eisen.
P = Porzellan.
M = Metall.

Fig. 233.

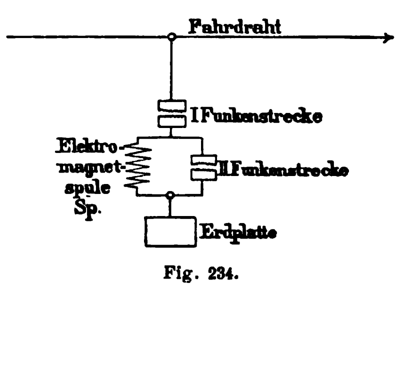


Fig. 234.

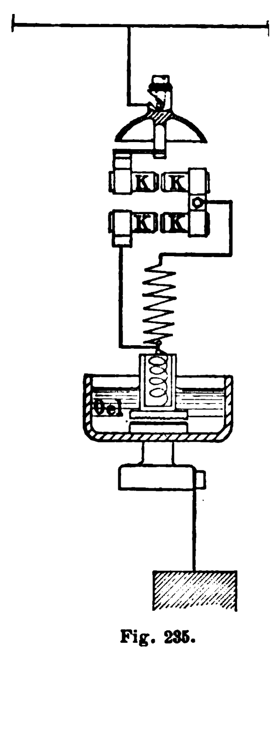


Fig. 235.

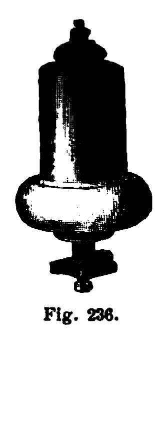


Fig. 236.

Der Blitz springt nun bei der ersten Funkenstrecke über und zieht einen Übergangsfunken für den nachfolgenden Gleichstrom. Alsdann geht der Blitz durch die zweite Funkenstrecke zur Erde, während der Gleichstrom die Elektromagnetspule erregt und dadurch die unter Öl befindlichen Spitzen auseinander zieht. Die Praxis hat gezeigt, dass der Blitz zwar abgeleitet wird, jedoch unter Explosionen und öfterem Zerstören des Apparates. Um alle beweglichen Teile zu vermeiden, sind nachfolgende Konstruktionen üblich geworden. Fig. 237 zeigt den Thomson'schen Ableiter. Hier springt der Blitz an derjenigen Stelle über, an der die daumenähnlichen Metallkörper am nächsten stehen. Sofort entsteht durch die Erdleitung E in dem Solenoid M ein Strom, welcher ein magnetisches Feld erzeugt. Die Kraftlinien dieses magnetischen Feldes, sowie die in die Höhe steigende warme Luft drängen den Lichtbogen nach oben, sodass derselbe schliesslich durch die Verlängerung abreisst und den Erdschluss des Betriebsstromes verhindert. Der Magnetisierungsstrom wird auch durch den Arbeitsstrom der Leitung selbst gebildet, sodass die Magnetspule stets eingeschaltet bleibt. Die neuere Ausführung des Thomson'schen Blitzableiters wird durch das Schema in Fig. 238 veranschaulicht. Durch Abschmelzen der Metallstücke kann auch hier ein dauernder Kurzschlus eintreten.

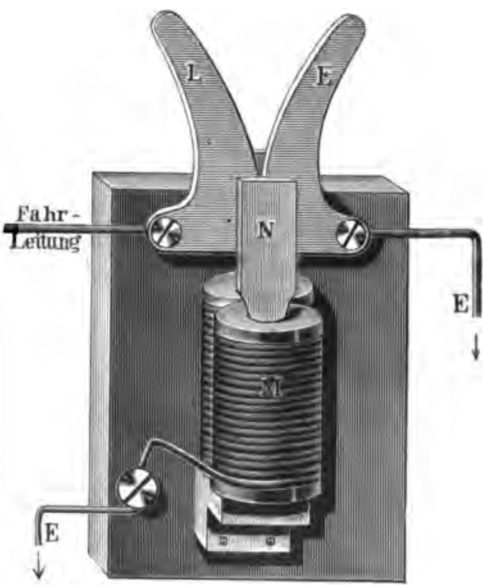


Fig. 237.

Fig. 239 stellt eine Anordnung dar, auf der dem Blitz nur Gelegenheit geboten ist, über ganz kurze Widerstände zu springen, somit nur kleine Funken erzeugen kann, welche sofort erlöschen. An die oberste Metallplatte ist die Luftleitung angeschlossen, an die unterste die Erde. Zwischen den verschiedenen Metallplatten, deren Anzahl abhängig ist von der Betriebsspannung der Bahn, liegen Glimmerplättchen. Die gegenseitige Isolierung der Zwischenplatten genügt, um den Betriebsstrom nicht zur Erde zu leiten,

der Blitz indessen überwindet an der Aussenseite der Säule den Luftwiderstand und nimmt den oben geschilderten Weg zur Erde durch die kleinen Lichtbögen.

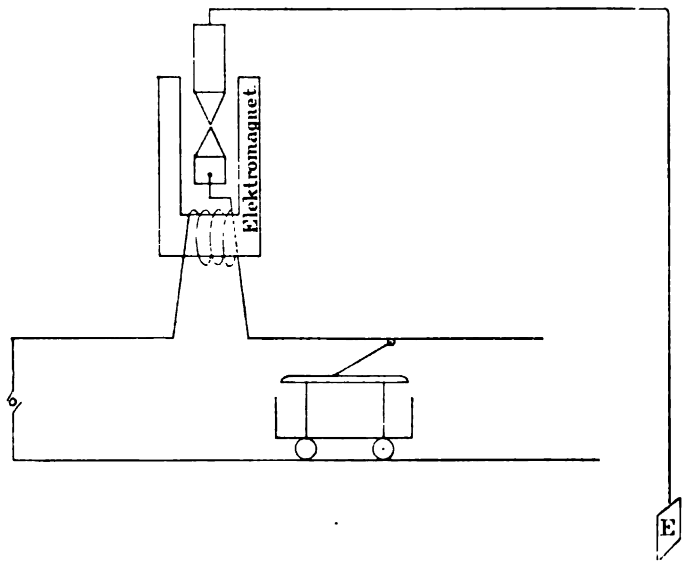


Fig. 238.

Eine andere Konstruktion eines Blitzableiters ist der sogenannte Kohlenblitzableiter in Fig. 240 schematisch, in Fig. 241 bildlich dar-

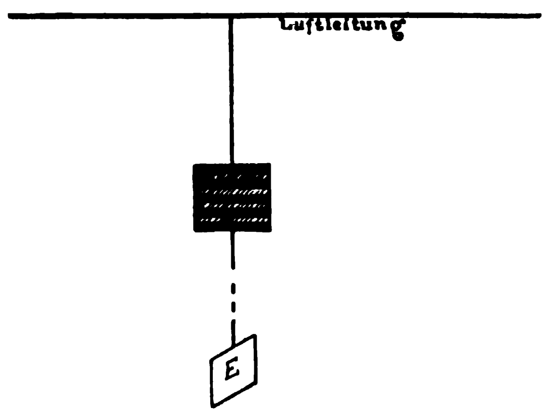


Fig. 239.

gestellt. Hier braucht der Blitz nicht den Luftwiderstand zu überwinden, sondern kann durch einen, für die hohe Blitzspannung

mässigen, für die Betriebsspannung jedoch genügend hohen Widerstand zur Erde gelangen. Wie die Figuren zeigen, liegen Kohlenplatten und paraffiniertes Papier abwechselnd übereinander. Kohle und Paraffinpapier geben bei Berührung keine schädlichen, mit der Zeit leitend werdenden Verbindungen, wie etwa Metall und Paraffinpapier. Der bei diesem Blitzableiter stattfindende, ständige Stromübergang macht ihn nur da verwendbar, wo nur wenig Ableitungen vorgesehen zu werden brauchen.

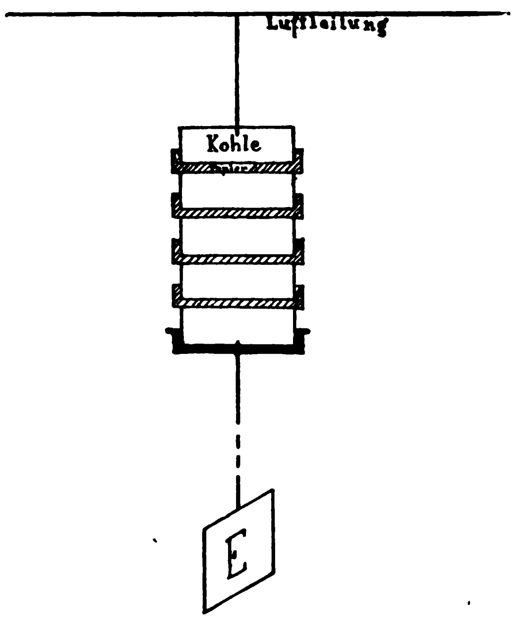


Fig. 240.



Fig. 241.

Die Blitzschutzvorrichtung von Schuckert & Co. mit elektromagnetischer Auslösung ist in Fig. 242 dargestellt. Schaltung und Wirkungsweise sind aus dem Schaltungsschema Fig. 243 ersichtlich. Sobald ein Blitz in die durch den Apparat geschützte Fahrleitung einschlägt, nimmt er seinen Weg über den Hebel B C und die zwischen zwei Kohlenstäben liegende Luftstrecke A zur Erde. Durch den Übergang des Blitzes wird auch hier ein Nachfolgen des Maschinenstromes eingeleitet werden, wodurch sowohl bei A als auch bei B ein Lichtbogen entsteht. Durch den Lichtbogen bei A wird nun an den Punkten a und b ein Spannungsunterschied hervorgebracht, sodass ein Teil des Stromes durch die Windungen der Spule E fliesst. Die Stromspule E wird dadurch magnetisiert und zieht den

Eisenkern kräftig in sich hinein. Diese Bewegung wird auf den Hebel CB übertragen, welcher ausschlägt, und der Lichtbogen wird bei B abgerissen. Die Stromspule lässt nunmehr wieder den Kern los, der Hebel kehrt in seine Ruhelage zurück, und der Apparat ist wieder bereit, einen neuen Blitzschlag aufzunehmen.

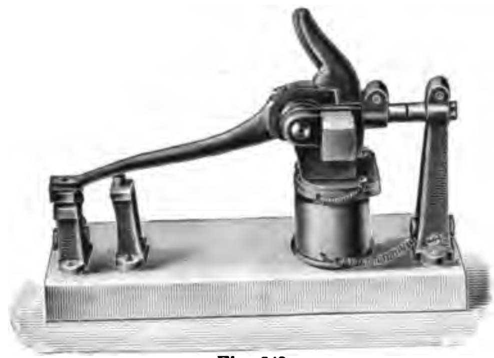


Fig. 242.

Wenn B ein Metallkontakt ist, wird durch den Übergangsfunken das Metall leicht abgeschmolzen. Es empfiehlt sich daher, einen Kohlenkontakt hierfür anzuwenden. Ganz & Co., Budapest, haben

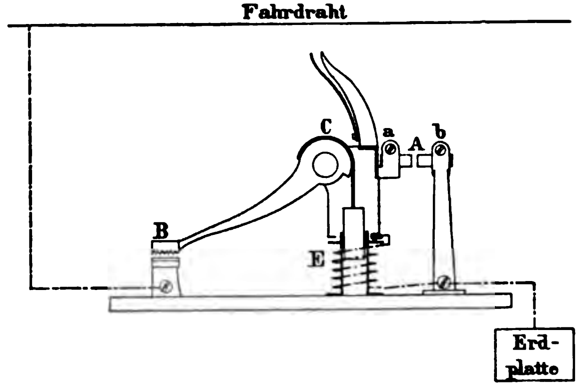


Fig. 243.

eine ähnliche Konstruktion, welche durch Fig. 244 veranschaulicht ist, angegeben.

Die zu schützende Leitung ist an die gezahnte, vom Untergestell isolierte Elektrode a angeschlossen. Dieser gegenüber steht die gezahnte Elektrode c, welche durch den vom Gestell isolierten drehbaren Hebel d und die Spule g eines U-förmigen Elektromagneten mit der Erde verbunden ist. Der Hebel d trägt an seinem anderen Ende einen mit gezahnter Elektrode versehenen Eisen-

anker e; diese Elektrode steht in der Ruhelage der mit der Erde verbundenen Elektrode f gegenüber.

Wird die Leitung von einem Blitzschlage getroffen, so erfolgt die Ableitung über a und c und mit Umgehung der Spule g über e bis f zur Erde. Bei a und c entsteht nun ein Lichtbogen, durch den — wenn die Entladung erfolgt ist — die Leitung über die Spule g des Magnetes zur Erde geschaltet wird. Der Anker wird nun angezogen, a und c geöffnet, der Bogen unterbrochen und hierauf der Hebel durch eine Feder in seine Ruhelage zurückgeführt.

Die sämtlichen angegebenen Konstruktionen haben den Nachteil, dass sie nicht gut im Freien angebracht werden können. Dagegen haben die von Siemens & Halske A. G. neuerdings konstruierten Hörnerblitzableiter den Vorzug der grössten Einfachheit. Sie besitzen keine beweglichen Teile, keine Elektromagneten oder irgend

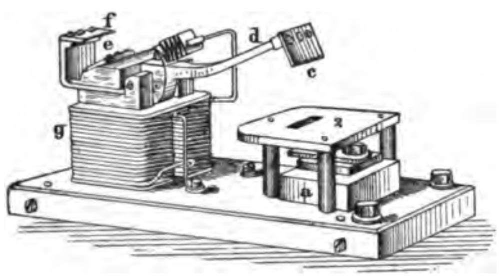


Fig. 244

welche mechanische Vorrichtung, um den Lichtbogen auszulöschen. Sie sind fast gänzlich frei von Selbstinduktion, wirken selbstunterbrechend und können nach jedem Blitzschlag sofort wieder in Thätigkeit treten. Die Drähte leiden durch den elektrischen Lichtbogen so wenig, dass sie jahrelang unversehrt bleiben und höchstens von Zeit zu Zeit mit etwas Schmirgelpapier geglättet zu werden brauchen.

Bei dem Streckenblitzableiter wird das Horn, Fig. 245, von einer eisernen Kappe getragen, an welcher es mittels eines Klemmstückes und einer Mutterschraube befestigt ist.

Die Kappe ist auf dem Isolator aus Porzellan, Hartgummi etc. aufgekittet, welcher auf einer eisernen Stütze befestigt ist. Unter dem sechskantigen Bund dieser Stütze ist ein schmiedeeiserner Bügel angeschraubt, welcher mittels eines Klemmstückes und einer Mutterschraube das andere Horn trägt.

Die gegenseitige Entfernung der Drahtbögen kann durch Verschieben an den Klemmstücken eingestellt werden.

Der Blitzableiter wird mittels des unteren Gewindeteiles der Stütze auf den eisernen Mastkopf aufgeschraubt bezw. bei Anbringung mehrerer Blitzableiter an einem Mast an einem Träger befestigt, derart, dass das eine Horn des Blitzableiters durch den Bügel und den Mast unmittelbar geerdet wird; das andere Horn wird mit der zu schützenden Leitung verbunden, und zwar wird die Verbindungsleitung mittels einer Schraube an dem Lappen der Kappe befestigt. Die Verbindungsleitung kann frei gespannt oder als isolierte Leitung, welche an dem Querdraht befestigt ist, ausgeführt werden.


Fig. 245.

Die Wirkungsweise der Blitzableiter ist folgende:

Schlägt ein Blitz in die Oberleitung, so wird er durch die Verbindungsleitung zu dem Horn des Streckenblitzableiters bezw. durch den Stromabnehmer zum Wagenblitzableiter gelangen, hier unter Bildung eines Lichtbogens den Luftzwischenraum zwischen beiden Hörnern überspringen und den Weg zur Erde nehmen.

Es wird nun durch den auftretenden Lichtbogen ein Kurzschluss zwischen dem Fahrdraht und den Schienen eingeleitet, welcher in den Hörnern eine elektrodynamische Wirkung hervorruft, derart, dass der Lichtbogen kräftig nach oben geblasen wird und zufolge der zunehmenden Verlängerung des Lichtbogens erlischt. Hierbei wird die dynamische Wirkung durch den Auftrieb der erwärmten Luft unterstützt.

Das Ausblasen des Lichtbogens erfolgt mit einem lauten Knall in einem Bruchteile einer Sekunde und ist der Blitzableiter sofort wieder gebrauchsfähig.

Die Entfernung der Hörner voneinander ist für Strassenbahnanlagen mit 500 Volt Spannung auf 3 *mm* anzunehmen, doch kann dieselbe auch noch ohne Nachteil für den Blitzableiter verringert werden.

Werden die Fahrschienen als Erdplatten benutzt, so sind die Blitzableitermaste durch wenigstens 8 *mm* starke Kupferdrähte mit den Schienen zu verbinden.

Die Erdleitung kann auch aus verzinktem Eisen oder aus verzinntem Kupfer hergestellt werden. Für eine im Grundwasser liegende Platte genügt eine Berührungsfläche von 1 *qm* einseitiger Oberfläche; für nur feuchtes Erdreich sind 2 *qm* zu wählen.

Kupferne Erdleiter sind 2 *mm*, eiserne 5 *mm* stark zu wählen. Stangen oder Röhren als Erdleitung müssen mindestens 5 *m* im Grundwasser stehen. Den günstigsten Erdanschluss bietet das Schienengleis der Bahnanlage, da die Schienen zur Erde den denkbar günstigsten Übergangswiderstand haben. (Über Erdleitungen siehe ETZ 1897, Heft 49, S. 757.)

Über atmosphärische Schutzvorrichtungen bei elektrischen Starkstromanlagen berichtet Görges in ETZ 1896, Heft 32, S. 511 ff. sehr eingehend. Vergl. auch Fischer-Hinnen ETZ 1897, Heft 18, S. 274.

Aus den bisherigen Konstruktionen und Erfahrungen heraus kann man die wenigen, allerdings schwer erfüllbaren Erfordernisse für Blitzableiter folgendermassen zusammenstellen.

Ein guter Blitzableiter darf keine Selbstinduktion besitzen, wenigstens nicht auf dem Wege, den der Blitz zu durchlaufen hat, er soll möglichst einfach sein, sodass er bei Beschädigungen leicht wieder in Stand gesetzt werden kann. Blitzableiter ohne bewegliche Teile sind denen mit beweglichen Teilen vorzuziehen, da letztere mehr beaufsichtigt werden müssen. Besonders für hohe Spannungen müssen die beiden Elektroden aufs Sorgfältigste voneinander isoliert sein, damit durch die Blitzableiter nicht die Isolation der Gesamtanlage heruntergedrückt wird.

r) Streckensicherungen.

Bei unterteilten Strecken, welche von einer Speiseleitung abhängig sind, ist es üblich, die Strecken vor Stromüberlastung zu schützen, indem man an den Speisepunkt eine Bleisicherung zwischenschaltet, welche allerdings so gross bemessen sein soll, dass sie für jeden noch möglichen Betrieb genügend Strom durchlässt, ohne zur Schmelzwärme zu gelangen. Indessen soll die Bleisicherung ab schmelzen, wenn durch Betriebsstörungen ein Kurzschluss stattfindet. Derartige Kurzschlüsse sind unvermeidlich, wenn der Fahrdraht zerreisst und zur Erde fällt. Aber auch Schadhaftwerden von Isolationskörpern in der oberirdischen Leitung muss durch die Streckenbleisicherung angezeigt werden.

Am einfachsten kombiniert man die Bleisicherungen mit den Streckenschaltapparaten, welche gleichfalls am Speisepunkt gut handlich vorzusehen sind. Es muss nämlich möglich sein, bei eingetretenem Kurzschluss die beschädigte Strecke gänzlich abzuschalten,

damit möglichst schnell eine neue Sicherung eingesetzt werden kann.

Das Einsetzen oder Herausnehmen einer Bleisicherung darf nicht geschehen, während der Betriebsstrom durch die betreffende Leitung geht, da sonst zerstörende Funkenerscheinungen unvermeidlich sind.

Automatische Ausschalter sind gleichfalls, auf den Strecken verteilt, angewandt worden, und man hat mit diesen Ausschaltern zugleich ein Signal verbunden, welches dem Fahr- und Bahnpersonal ein sichtbares Zeichen stattgefundener Unregelmässigkeiten giebt. Die Konstruktion der Streckensicherungs-Schaltapparate bietet gegen-



Fig. 246.



Fig. 247.

über den bekannten Konstruktionen keinen wesentlichen Unterschied. Das Hauptaugenmerk ist auf Schutz gegen Regen und Feuchtigkeit und gegen unbefugte Benutzung zu richten.

Ein einfacher, auf der Strecke angebrachter, sogenannter Haus- oder Mastausschalter ist in Fig. 246 mit geöffnetem Schalter und in Fig. 247 mit geschlossenem Schalter dargestellt.

Beim Bruch eines Fahrdrahtes werden die Enden desselben herunterfallen und einen Kurzschluss zwischen Fahrdraht und Schienenleitung unter starken Feuererscheinungen herstellen. Der starke Strom wird, wenn eine Bleisicherung nicht vorhanden ist, den in der Kraftstation angebrachten automatischen Ausschalter zum Ausspringen bringen und die ganze Strecke, oder den betreffenden

Streckenteil strom- und spannungslos machen. Durch Öffnen der diese Sektion einschliessenden Streckenschalter kann ein Wiedereinschalten in der Station unschädlich gemacht werden, oder man kann durch geeignete Apparate und Schaltungen den Stations-Schaltwärter am Wiedereinschalten verhindern.

s) Sicherungen bei Drahtbrüchen und Kontaktentgleisungen.

Um die gefährdenden Wirkungen eines über den Verkehrswegen ausgespannten Fahrdrahtes zu vermeiden, sind Konstruktionen vorgeschlagen worden, die im Augenblick des Bruches den Fahrdraht strom- und spannungslos machen. Ein direkter Schutz durch Netze ist nicht durchführbar, wie etwa bei anderen Starkstromleitungen und Telegraphenleitungen, und eine indirekte Schutzvorrichtung mit einfachen Mitteln zu erreichen ist nicht leicht, kostspielig und unbequem. An einigen Beispielen sollen die in dieser Richtung stattgefundenen Bestrebungen der Vollständigkeit halber aufgeführt werden, obgleich ausgedehnte praktische Anwendungen nicht erfolgt sind.

Reisst der Draht an irgend einer Stelle, so trifft das gerissene Ende stets den Erdboden, bezw. alles, was sich gerade unter der Bruchstelle befindet. Es wird also zunächst das niederfallende Gewicht einen für Menschen und Tiere stark beschädigenden Schlag verursachen. Da der Draht ausserdem mit bedeutender Zugspannung montiert ist, hat er das Bestreben, zurückzuschnellen und wird unter Umständen sich nach oben einrollen, weil die unteren Faserschichten des Drahtes von dem rollenden oder schleifenden Wagenkontakt mit der Zeit gestreckt worden sind.

Eine durch den Bruch veranlasste Nachlassung der Horizontalspannung kann auch dazu benutzt werden, um den Strom momentan über eine äusserst kleine Bleisicherung kurz zu schliessen. Diese Bleisicherung liegt beim normalen Betriebe ausserhalb des Strombereiches und ist dadurch ein Versagen der Sicherung ausgeschlossen. Bei anormaler Stromstärke schaltet das Durchbrennen der sonst im Nebenschluss liegenden Bleisicherung den Betriebsstrom für die beschädigte Strecke aus.

Der Nachteil dieser Konstruktion ist ausser den wesentlich höheren Anlagekosten der, dass die Isolation nicht durch grosse Luftwege unterstützt wird und dass diese Isolationen nicht unter sorgsamer Kontrolle stehen können, weil sie nur durch Leiterwagen erreichbar sind.

Erwähnenswert bleibt noch eine Sicherungsvorrichtung, welche eine gute Lösung der Sicherheitsfrage darstellen würde, wenn sie nicht die Anlage durch eine neue Drahtleitung beschweren würde.

Das von der Stromquelle entfernte Ende des Fahrdrahtes ist durch eine Hilfsleitung mit dem Schienen-Pole der Stromquelle verbunden, sodass Fahrdraht und Hilfsdraht hintereinander geschaltet sind. In diese Hilfsleitung ist ein Ruhestrom-Elektromagnet eingeschaltet,

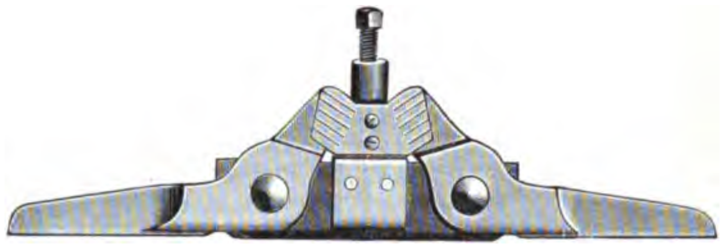


Fig. 248.

welcher derartig wirkt, dass er den Fahrdraht selbstthätig unterbricht, d. h. von der Stromquelle abschaltet, sobald die Hilfsleitung stromlos wird, d. h. beim Zerreissen der Haupt- oder Hilfsleitung.

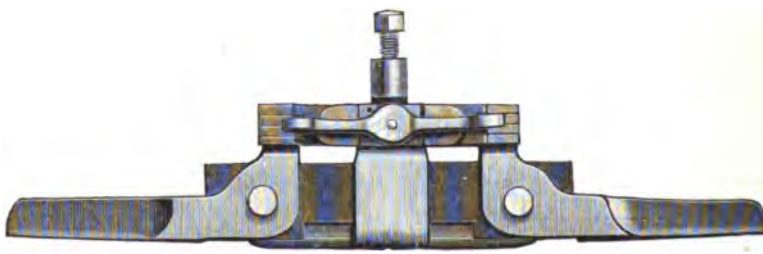


Fig. 249.

Selbstthätige Fahrdraht-Ausschalt-Konstruktionen zeigen die folgenden Figuren 248, 249, 250, 251, bei denen der Draht beim Reissen stromlos wird.



Fig 250.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft bringt eine ähnliche Konstruktion auf den Markt, die in Fig. 252 zur Darstellung gebracht wurde.

Führt ein Fahrdraht z. B. unter einem eisernen Bahn-Viadukt hindurch, so schützt man die Eisenkonstruktion sehr wirksam gegen

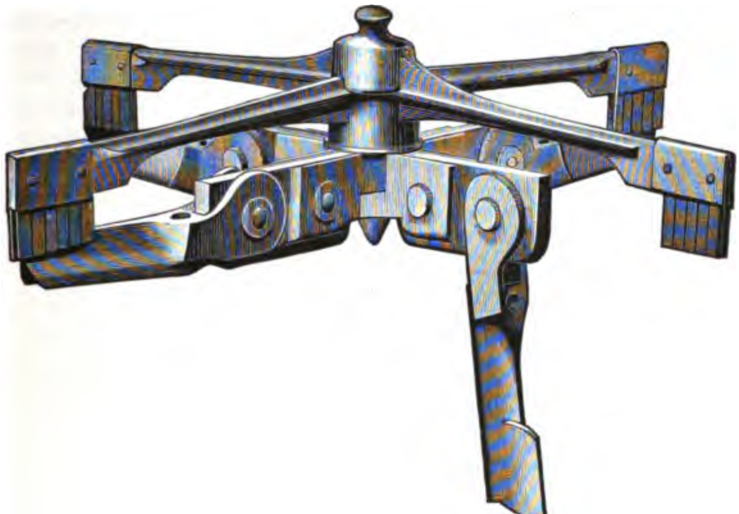


Fig. 251.

Kurzschlussfunken, indem man über dem Fahrdraht eine nach unten offene Holzrinne so befestigt, dass eine entgleisende Kontaktrolle

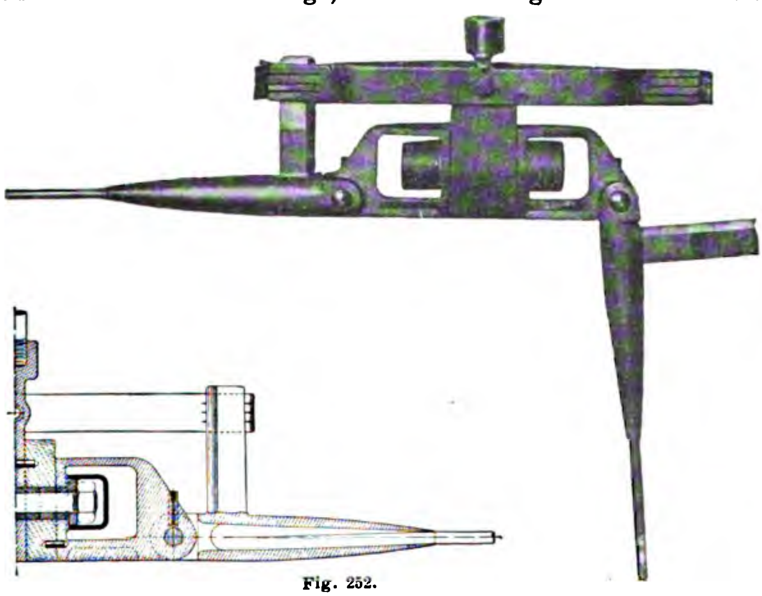


Fig. 252.

von der Rinne aufgefangen wird. Auch beim Bügelkontakt ist darauf zu achten, dass niemals eine Kurzschlussgefahr zwischen dem an

Erde liegenden Eisenwerk des Bahnviaduktes und dem Fahrdraht durch den Bügel eingeleitet oder begünstigt wird.

Die Luftweiche für Rollenkontakt bildet sehr oft den Anstoss zu einer Rollen-Entgleisung. Um nun zu verhindern, dass der Rollenkorb sich in den zusammenlaufenden Fahrdrähten verfängt, spannt man ein schwaches Drahtnetz zwischen den Fahrdrähten kurz vor dem Weicheneinlauf aus, an welchem die Rolle laufen kann.

t) Montage der Oberleitung.

Bei der Montage einer oberirdischen Leitung müssen vorerst die Spanndrähte gezogen werden. Für gewöhnlich müssen sie so straff sein, wie zwei Leute sie mit einem gewöhnlichen Flaschenzug anspannen können. Der Draht wird mit Klammern gehalten. Der Zug soll 150—250 *kg* betragen. Bei extra grossen Spannweiten muss natürlich ein grösserer Zug auf die Spanndrähte kommen, aber auf alle Fälle ist darauf zu achten, dass die Spanndrähte so lose bleiben, als es die Stabilität und das Aussehen der Leitung gestattet; denn je grösser der Zug in den Spanndrähten, desto grösser ist die Möglichkeit von Drahtbrüchen und die Beanspruchung der Maste.

Nachdem die Ausleger und die Spanndrähte in obiger Weise befestigt und genau ausgerichtet sind, wird mit dem Anbringen der Isolatoren begonnen. Auf ganz geraden Strecken werden die einfachen Hängeisolatoren verwendet. Dieselben werden einfach genau über der Gleisachse auf den Spanndraht aufgezwängt. Die Kurvenisolatoren hingegen müssen in den Spanndraht »eingeschnitten« werden, d. h. wenn der richtige Punkt auf dem Spanndraht durch einen Senkel genau bestimmt ist, wird der Draht an diesem Punkte zerschnitten und der Kurvenisolator eingesetzt.

Ebenso wird die Stellung der Auslegerisolatoren am Ausleger genau abgesenkelt und der Isolator dann durch Anziehen der beiden Stellschrauben gut befestigt.

Der Fahrdraht wird durch Flaschenzüge gespannt und an den früher erwähnten abgespannten Fixpunkten befestigt. Um die durch Temperaturänderungen entstehenden Spannungsschwankungen und die dadurch bedingten Veränderungen der Durchhänge des Drahtnetzes auszugleichen, sind die Nachspannvorrichtungen in entsprechenden Abständen einzubauen.

Am besten erfolgt das Spannen des Fahrdrahtes zwischen zwei Fixpunkten durch Vorrichtungen, an denen man den ausgeübten Zug jederzeit erkennen kann, um einen Massstab für den ausgeübten Zug zu haben.

Provisorische Schlingen aus Eisendraht werden nun an den Spanndrähten angebracht und der Fahrdraht in diese Schlingen

eingelegt. Hierauf wird er kräftig angezogen und verankert. Sobald eine Kurve erreicht wird, soll der Draht bis zum Beginn derselben kräftig gespannt, dort verankert und um die Kurve herum gelegt werden, wobei der Draht genügend schlaff bleiben muss, damit die Kurve später richtig abgespannt werden kann. In den Kurven müssen die provisorischen Schlingen an den Spanndrähten oder Kurvenisolatoren derartig befestigt werden, dass sie sich nicht verziehen können. Der Fahrdraht muss ein wenig innerhalb seiner endgültigen Lage gelegt und ziemlich fest angezogen werden. Er wird dann am Anfang und Ende der Kurve verankert (d. h. mit Diagonalspanndraht gegen die dem Verankerungspunkt vorangehenden zwei Masten abgespannt). In Kurven kommen die einfachen und Doppel-Kurvenisolatoren zur Verwendung.

Nachdem der Draht gezogen und aufgehängt ist, wird er mittels der Drahtklammern an den Isolatoren befestigt.

Zur Verbindung des Fahrdrahtes werden die Verbindungsmuffen benutzt. Die durch einen Block fest zusammengezogenen Drahtenden werden in die Muffen ein- und in der Mitte durch die hierfür vorgesehene Öffnung ausgeführt und dort umgebogen.

Die Speiseleitungen werden in gewöhnlicher Weise auf den hierfür an den Pfahlköpfen vorgesehenen Isolatoren montiert. Wichtig ist die solide Verbindung der Speiseleitung mit der Fahrleitung. Erfolgt die Zuleitung des Speisedrahtes an Stelle eines Spanndrahtes, so muss der betreffende Spanndraht in der Werkstatt passend vorbereitet werden, nachdem zuvor die hierfür notwendige Messung auf der Strasse direkt ausgeführt wurde. Die Ausführung der Arbeit auf der Strasse ist unzulässig. Als Verbindungsstück zwischen der Speiseleitung und dem Fahrdraht verwendet man am besten ein Stück Fahrdraht.

Unterbrechungsisolatoren müssen entweder direkt an den Auslegerisolatoren befestigt oder an Spanndrahtisolatoren aufgehängt werden. Es ist nicht zulässig, sie ohne Unterstützung in die Fahrleitung direkt einzusetzen. Ihre Konstruktion ist zumeist derart durchgeführt, dass sie sowohl an Hängeisolatoren für gerade Strecken, als auch an Kurven- und Auslegerisolatoren aufgehängt werden können.

Wenn der Winkel der Gleisachsen nicht gleich gross ist dem Winkel der Fahrdrähte, müssen die Zungen der Luftweichen ein wenig abgebogen werden, um die beiden Winkel einander genau gleich zu machen. Die Weichenstücke sind zum Befestigen sowohl an Auslegern, als auch an Spanndrähten eingerichtet. Die letztere Befestigungsart ist, wo immer angängig, vorzuziehen. Die Weichen werden mittels Weichen-Abspannisolatoren abgespannt. Ein Stück Stahlkabel wird jederseits in die beiden Aufhängeösen schleifenartig eingehängt und von dieser Schleife aus wird beiderseits die Weiche

abgespannt. Die Weichen dürfen nicht eher an die Fahrleitung befestigt werden, bis ihre endgültige Stellung über dem Gleise genau festgelegt ist.

Die Beaufsichtigung der Isolatoren hat sich auf den Zustand des Isolationsmaterials, ob dasselbe etwa gesprungen oder verschmutzt ist, und auf die Beschaffenheit der Verschraubungen und sonstigen Befestigungen zu erstrecken und muss z. B. allmonatlich einmal vorgenommen werden.

Über die Messungen des Isolationswiderstandes sind bisher noch wenig Resultate bekannt gegeben worden.

Gisbert Kapp hat bei einem neuen Leitungsnetz den Übergangswiderstand mit 85000 Ohm für das Kilometer festgestellt. Die Witterung während dieser Messung war feucht, die Messung geschah des Nachts nach Betriebsschluss. Bei trockenem Wetter dürfte sich der Isolationswiderstand noch wesentlich günstiger gestalten. Bei dem gemessenen Werte ergiebt sich ein Stromverlust bei 550 Volt Netzspannung von ca. 0.006 Amp. für 1 *km* Strecke, d. h. ein Wert, welcher für die Praxis vollständig bedeutungslos ist.

Die neuen Verbandsvorschriften fordern 50000 Ω für 1 *km* eingleisiger Fahrdrahtstrecke.

7. Schutzvorrichtungen für Schwachstromdrähte.

Telephon- und Telegraphenleitungen benutzen gewöhnlich dieselben Verkehrswege, wie die elektrischen Bahnen. Da dieselben bei uns in Deutschland in den meisten Fällen der Reichspost gehören, so sind nach § 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 die vorhandenen Schwachstromleitungen der Post gegen die Starkstromleitungen der Bahn zu schützen, sofern nicht § 6 des am 1. Januar 1900 in Kraft getretenen »Telegraphenwegegesetzes« die Schutzpflicht der Postverwaltung selbst auferlegt.

(§ 12 des Tel.-Ges. lautet: Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Teiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen.)

Es haben sich für den gegenseitigen Schutz Konstruktionen herausgebildet, welche im folgenden behandelt werden sollen.

Das Zunächstliegende ist, den Fahrdraht selbst, da er nicht anders als blank ausgeführt werden kann, mit isolierender oberer Hülle zu umgeben, wobei immer darauf Bedacht zu nehmen ist, dass der

Wagenkontakt direkte metallische Berührung behält. Querschnitte solcher Anordnungen sind in Fig. 253 und 254 dargestellt. Fig. 253 zeigt eine Holzleiste, Fig. 254 ein halbes Bambusrohr als schützenden Teil.



Fig. 253.



Fig. 254.

Stromlose Schutzdrähte haben weiterhin in verschiedener Anordnung Anwendung gefunden. Die Fig. 255, 256 und 257 zeigen diese Schutzdrähte schematisch.

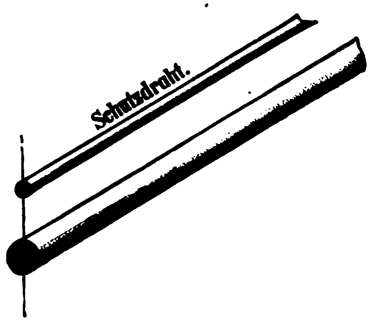


Fig. 255.

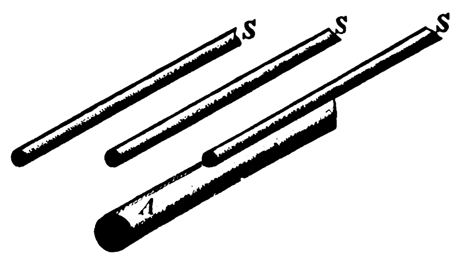


Fig. 256.

Wenn man diese Schutznetze hoch über dem Fahrdrahte anbringen kann, empfiehlt es sich, wie weiter erklärt wird, dieselben mit dem Erdpol zu verbinden. Bei geringerer Entfernung, wenn die Möglichkeit einer Berührung des mitunter schwankenden Fahrdrahtes mit dem Schutznetz vorliegt, muss dasselbe natürlich isoliert befestigt werden. In Frankfurt a. M. befindet sich ein Schutzdraht wie Fig. 255 in Verwendung, welcher nur 20—25 *cm* über dem Fahrdraht ruht und doch mit der Erde verbunden ist. Die Fahrdrahtisolatoren haben zu dem Zwecke eine Verlängerung nach oben, auf welcher der Schutzdraht ruht. Zur doppelten Isolation gegen den Fahrdraht hängt am eigentlichen Isolator noch ein zweiter, der erst den Fahrdraht fasst. In der Mitte zwischen zwei Aufhängepunkten ist noch eine doppelt isolierende Abstrebung beider Drähte



Fig. 257.

vorhanden, sodass eine Berührung zwischen Schutzdraht und Fahrdraht ausgeschlossen ist.

Mit diesen Vorrichtungen ist jedoch alles erschöpft, was in der Macht des Bahnbauers liegt. Einem aus 20—30 *m* Höhe herabfallenden schwachstromführenden Draht kann man seine Durchschlagkraft durch zierliche Konstruktionen, wie solche doch nur in Betracht kommen können, nicht nehmen. Der Schutz, welcher, so lange er unthätig ist, seinem Zwecke entspricht, wird durch die mechanischen Kräfte in dem Augenblick verschlechtert, wenn er wirken soll.

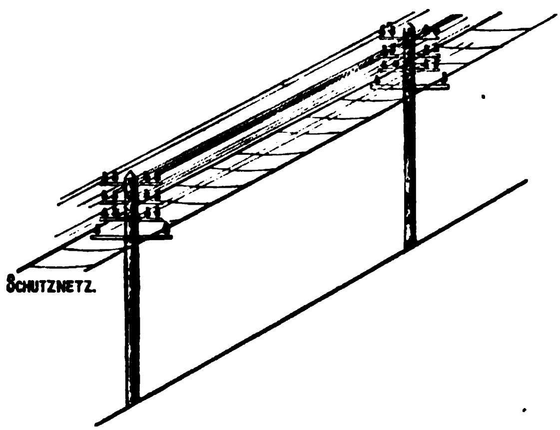


Fig. 258.

Es können nur diejenigen Schwachstromleitungen in Gefahr kommen, welche die Bahn senkrecht oder schräg kreuzen, oder in deren allernächster Nähe parallel laufen.

Am allergefährlichsten sind die schräg zum Fahrdraht verlaufenden Drähte, weil beim Herabfallen dieselben nur durch ganze Drahtdächer über der Starkstromleitung geschützt werden können; es ist daher zu erstreben, dass von vornherein Strassen von Telegraphen- und Telephondrähten nur senkrecht überschritten werden, und wo dies nachträglich noch möglich ist, dieselben in dieser Weise zu verlegen.

Der teuerste aber vollkommenste Schutz besteht darin, dass man die gefährdeten Schwachstromleitungen in ein oberirdisches oder unterirdisches Kabel verlegt, oder dass man an Stelle der Erdrückleitung eine besondere metallische Leitung verlegt. Ein billigeres, aber trotzdem äusserst zweckmässiges Mittel ist das Fangnetz dicht unter der Leitung, welches bewirkt, dass ein defekt gewordener Schwachstromdraht in mässiger Höhe so aufgefangen wird, dass er

weder mechanische noch elektrische Beschädigungen und Verletzungen bewirken kann. (Fig. 258.)

Fällt er indess aus beträchtlicher Höhe herab, dann sind Zerstörungen mannigfachster Art stets zu gewärtigen.

Der Schutz von Personen und Sachen gegen die Fall- und Massenwirkungen eines oder mehrerer Telephondrähte u. s. w. fällt nicht in das Bereich derjenigen Massnahmen, welche dem Unternehmer für Starkstromanlagen zur Last fallen, weil durch diese Anlagen die Gefahr nicht vermehrt wird. Dagegen ist jeder Schutz in elektrischer Beziehung zu verlangen. Das Naheliegendste ist natürlich die in anderen elektrischen Betrieben so bewährte Bleisicherung. In dieser Beziehung ist die schwedische Postbehörde allen anderen vorangegangen und die Deutsche Reichspost ist nunmehr gefolgt. (Vergl. ETZ 1899, S. 693 über Post-Schmelzsicherungen von Strecker.) Die Schwierigkeit liegt darin, dass es schwer war, eine Abschmelzvorrichtung zu finden, welche einerseits genügend Festigkeit gegen mechanische und chemische Einwirkungen besitzt, anderseits aber auch so fein hergestellt werden kann, dass die für Bruchteile von Amp. hindurchgehende Stromstärke die sichere Abschmelzung gewährleistet.

Die Bleisicherungen vermögen zwar eine momentane Unterbrechung eines eintretenden Starkstromes zu bewirken, nicht aber den längere Zeit andauernden sehr schwachen Strömen den Eintritt in die Telephonapparate zu wehren. Bei 500 Volt Betriebsspannung der Bahn und dem Ohm'schen Widerstande eines bezw. mehrerer Telephonapparate ist es noch immer möglich, dass ein Strom übertritt, der die Bleisicherung unbeschädigt lässt, dagegen die Apparate bei längerer Dauer über das zulässige Mass erwärmt. Durch eine derartige Erwärmung kann das Gebäude, in welchem sich Telegraphen- und Fernsprechanlagen befinden, Feuer fangen, wenn die Installation in der bei der Post üblichen Weise erfolgt ist.

Eine solidere Installation der Schwachstromleitungen, etwa nach dem Vorbild der Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker, würde hier am Platze sein.

Der internationale Elektriker-Kongress im Jahre 1896 zu Genf hat sich dahingehend geäussert, dass es bei oberirdischen Kreuzungen von Starkstrom- und Schwachstromlinien genügt, die letzteren durch Abschmelzdrähte zu sichern, wenn die Spannung 750 Volt nicht übersteigt.

Eine Sicherung muss an jeder Stelle vorgesehen werden, an der eine Erhitzung des Schwachstromdrahtes feuergefährlich werden könnte.

Die von der Deutschen Reichspost verwendeten Sicherungen bestehen aus dünnem Neusilberdraht, der in einer luftdicht abgeschlossenen Glasröhre frei ausgespannt ist.

Der schwächste in Telephonleitungen verwendete Spulendraht hat eine Stärke von 0,15 *mm*; derselbe schmilzt bei etwa 4 Amp. und verträgt 4—5 Sekunden lang einen Strom von etwa 2 Amp., ohne Schaden zu nehmen. Ein Neusilberdraht von 0,08 *mm* Stärke schmilzt bei etwa 1 Amp. Es würde demnach ein in die Leitung gebrachter Neusilberdraht von 0,08 *mm* Stärke als Sicherung dienen können.

Bei den Fernsprechanlagen in Kiew ist von der russischen Post- und Telegraphenverwaltung eine von dem Techniker **Abramowitsch** konstruierte Sicherung zur Einführung gekommen, durch welche die

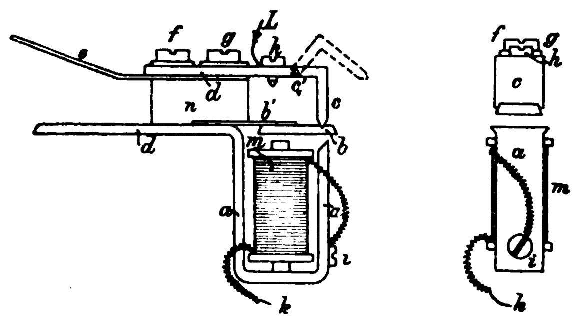


Fig. 259.

Zerstörung der Apparate beim Eindringen von Starkströmen in die Fernsprechleitungen verhütet werden soll. Der Elektromagnet m in Fig. 259 wird von einem hufeisenförmig gebogenen Schirme a aus weichem Eisen getragen, an welchem mittels der Feder b' der Anker b befestigt ist. Die Aussenleitung L ist mittels der Schraube h an dem isolierten, an a festgeschraubten kupfernen Stück d angelegt; d trägt den um die Achse c' drehbaren kupfernen Bügel c, der im Ruhezustand in einen Einschnitt von b eingreift. Der Strom tritt bei L ein, geht über d, c, b, b', a, Schraube i durch die Spule von m und über k nach dem Umschalter. Die Regulierung der Federspannung von b' ist wie üblich derart, dass b erst angezogen wird, wenn ein Strom von solcher Stärke hindurchgeht, dass eine Beschädigung der Amtseinrichtung erfolgen kann; in diesem Falle wird dann durch den Anzug von b das Stück c frei und von einer um die Achse c' gewundenen Feder in die punktierte Lage geworfen, wodurch der Strom unterbrochen und eine Flammenbildung verhindert wird. Die Stücke c und d sind, wie erwähnt, aus Kupfer

und vernickelt. — Die Elektromagnetspule enthält 7 Lagen eines 0.37 *mm* dicken, mit Seide besponnenen Drahtes; der Widerstand beträgt 3,2 Ω. — Das Stahlstück e, welches zwischen das Ebonitstück n und die Schiene d eingeschoben ist, steht mit einem Spitzenblitzableiter in Verbindung.

Ein abschliessendes Urteil über den Wert dieses Apparates lässt sich natürlich erst erzielen, wenn die Einführung in grösserem Massstabe längere Zeit bestanden hat.

Ein Übelstand der meisten bisherigen Apparate dieser Art ist bekanntlich der, dass sie zu langsam ansprechen, sodass unter Um-

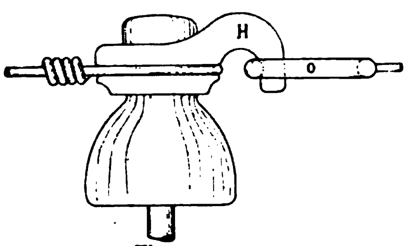
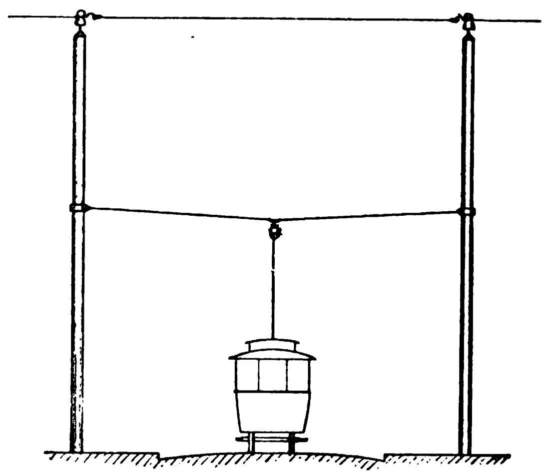


Fig. 260.


Fig. 261.

ständen ein so beträchtlicher Stromstoss nach dem Umschalter gelangt, dass dieser schon zersört ist, ehe der Apparat den Stromkreis unterbrochen hat.

Eine mechanische Sicherung des Schwachstromdrahtes ist durch folgende Einrichtung gegeben:

Der durch die Horizontalspannung des Telegraphen- bezw. Telephondrahtes ausgeübte Druck bewirkt ein Festhalten der Öse O in dem Haken H (Fig. 260), welch' letzterer zu diesem Zwecke eine kleine Einkerbung besitzt. Mit der Öse O ist der gefährdete Schwachstromdraht befestigt, während am hinteren Teil des Hakens H der Draht zur üblichen Weiterführung angebracht ist. Reisst nun aus irgend einem Grunde der Schwachstromdraht, so hört der Horizontalzug auf und es fallen die zerrissenen Enden mit den Ösen O zu Boden. (Fig. 261.) Jegliche Verbindung mit den intakt bleibenden Leitungen hört somit auf, und die Gefahr ist beseitigt.

Eine Abart dieser Konstruktion ist für Drahtschwärme bestimmt, weil vorstehende Vorrichtung nur für Einzelleitungen Anwendung finden kann. Fällt nämlich ein oberer Draht eines Schwarmes herunter, dann kann es vorkommen, dass das eine Ende sich um die benachbarten Drähte schlingt und das andere Ende den Starkstromdraht der Strassenbahn berührt. Darum muss man den gefährdeten Draht in solch' kurze Stücke zerlegen, dass keines derselben allzulang herunterhängt. (Fig. 262.) Man erreicht dies, wenn man den Draht an den Schnittstellen mit zwei Endösen (Fig. 263) versieht und dadurch eine lose Kette bildet, deren Glieder genügend kurz sind, um obigen Zweck zu erreichen, und welche durch den Horizontalzug die Kugelkalotten an die dazwischengelegte kleine Metallkugel presst, um so guten Kontakt für den Schwachstrom zu bieten.

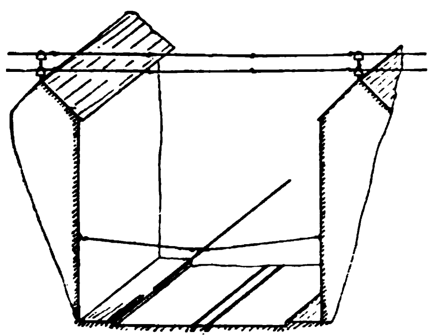


Fig. 262.

Auf dem Prinzip des Aufhörens der Horizontalspannung beimReissen eines Drahtes beruht ferner eine Anordnung, welche den gesamten Drahtschwarm ausschaltet, sobald auch nur ein Draht nachlässt. Fig. 264 veranschaulicht die Ausführung dieser Idee.

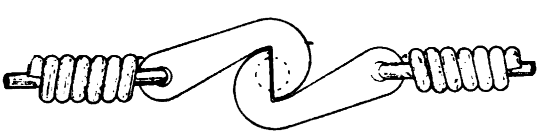


Fig. 263.

Der einzige Mangel dieser Konstruktion ist der, dass beim Defektwerden eines Drahtes die sämtlichen an den Schwarm angeschlossenen Teilnehmer ausgeschaltet werden.

Eine von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft ausgeführte Konstruktion ist in Fig. 265 dargestellt.

Reisst die Schwachstromleitung S, so fällt dieselbe kontaktbildend in den mit Erde verbundenen Schutzbügel, der im gespannten Zustande den zu schützenden Draht frei umschliesst.

Bis hierher sind die hauptsächlichsten Schutzmassregeln aufgeführt, welche mechanische Verletzungen der Schwachstromleitungen unschädlich machen sollen. Da die Praxis gezeigt hat, dass Schutz-

netze nicht immer in wünschenswerter Weise wirken, so ist man dazu übergegangen, automatisch wirkende Ausschalte- und Anzeigevorrichtungen sowohl auf der Strecke als auch in der Kraftstation anzubringen. Zugleich wird durch geeignete Anordnung der Schutznetze bezweckt, die Apparate der Post zu schützen, selbst wenn das Schutznetz nicht so wirkt, wie es sollte.

Wird das Schutznetz mit dem Erdpol in Verbindung gebracht, so bleibt der Postapparat, falls der betreffende Fernsprechdraht reisst

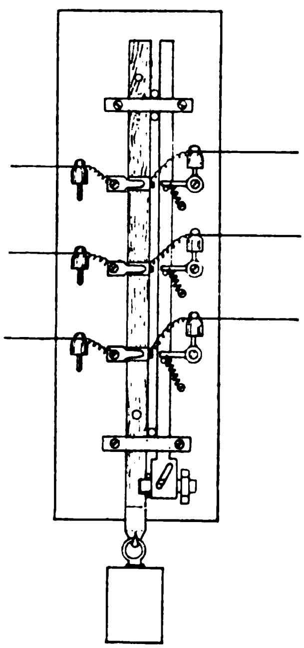


Fig. 264.

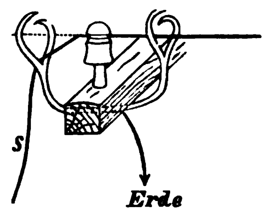


Fig. 265

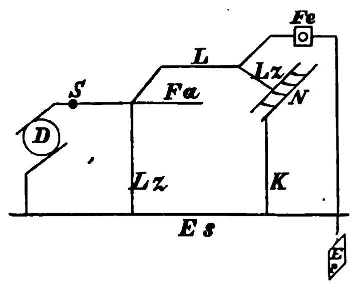


Fig. 266.

E = Erdpol { Es = Erdschiene. Ep = Erdplatte.
Fe = Fernsprecher.
Fa = Fahrdraht.
S = Starkstromautomat.
D = Dynamomaschine.
N = Schutznetz.
K = Kurzschlussdraht (Erdverbindg.
L = Fernsprechleitung.
Lz = zerrissenes Fernsprechdrahtende.

und auf den anderspoligen Fahrdraht herunterfällt, stets im Nebenschluss zu dem heiss werdenden Verbindungsstück mit verhältnismässig sehr geringem Widerstand. In Fig. 266 ist die schematische Darstellung der Stromverteilung in dem Falle gezeigt, in welchem der Schwachstromdraht sowohl das Schutznetz als auch den Fahrdraht berührt und mit der Erde Verbindung herstellt.

Der Starkstromautomat S, welcher sich hier in der Station befindet und im Falle des Kurzschlusses ausspringt, kann natürlich auch auf der Strecke selbst angewandt werden, um nur immer den-

jenigen Teil des Fahrdrahtes abzuschalten, der sich in unmittelbarer Nähe der Postleitungen befindet.

Bedingung für die Aufrechterhaltung des Verkehres in ungefährdeten Teilen der Bahnanlagen ist alsdann natürlich, dass der Fahrdraht von besonderen Speiseleitungen begleitet wird, und dass die jemaligen Speisepunktverbindungsleitungen mit entsprechenden Bleisicherungen oder Automaten versehen werden.

Einen Nachteil besitzt das an der Erde angeschlossene Schutznetz. Falls nämlich das Netz selbst zerreisst, so bildet es bei Berührung mit dem Fahrdrahte ebenfalls Kurzschluss und mit diesem eine Betriebsstörung. Dem gegenüber muss man ein Schutznetz dauerhaft befestigen, genügend stark machen und durch die Drahtdurchhänge des Netzes keine Berührungspunkte mit dem Fahrdrahte begünstigen.

Es liegt nun, als Folge vorstehender Darlegungen, nichts näher, als absichtliche Kurzschlüsse dann hervorzurufen, wenn ein Schwachstromdraht, ein Schutzdraht oder sonstige über dem Fahrdraht befindliche Drähte herunterfallen, um dadurch den Betriebsstrom auszuschalten.

Die Strassenbahnleitungen im Königreich Sachsen müssen auf Anordnung des sächsischen Staatskommissars Oberbaurat Professor Dr. Ulbricht nach den vorstehenden Grundsätzen gesichert werden. Die für die Herausgabe dieser Bestimmungen erforderlichen Vorversuche hatten gezeigt, dass der Fernsprechdraht nicht am Fahrdraht, sondern am geerdeten Schutznetzdraht abschmolz. Das nun stromlos gewordene Drahtende blieb am Fahrdraht hängen und ragte in das Bereich des Strassenverkehrs hinein. Solange das Drahtende die Fahrschiene nicht berührt, ist keine Wirkung nach aussen wahrnehmbar. Wenn jedoch z. B. ein Pferd, das bekanntlich infolge seiner guten Kontaktbildung durch die Hufeisen dem elektrischen Strome gegenüber äusserst empfindsam ist, Verbindung zwischen Drahtende und Erde herstellt, wird dasselbe zumeist getötet, oder wenn zufälligerweise dieses nicht geschieht, mindestens zum Durchgehen veranlasst. Auch der Mensch kann unangenehm berührt werden. Um diese Gefährdungen des Strassenverkehrs zu beseitigen, konstruierte Professor Ulbricht einen Apparat, der nur allein durch einen momentanen Erdschluss einen Erdschlussautomaten in der Nähe der durch Schwachstromleitungen gefährdeten Stelle zur Wirkung bringt und dadurch einen dauernden Kurzschluss von bestimmter Grösse hervorbringt. Durch den ausgesprungenen Erdschlussautomaten wird der Fahrdraht mittels einer starken Leitung mit den Schienen verbunden, sodass ein energischer Kurzschluss in der Fahrleitung den Stationsautomaten sicher zur Auslösung bringen muss. Ein-

gehende Beschreibung der Versuche und Schaltungen befindet sich in der ETZ 1896, Heft 19, S. 278.

Wenn, wie wir soeben gesehen haben, zwischen Fahrdraht und Laufschiene ein Kurzschluss entstanden ist, so soll angezeigt werden, wenn der Kurzschluss beseitigt ist, um wieder einschalten zu können. Zu diesem Zwecke ist parallel zum automatischen Starkstromausschalter ein Widerstand W geschaltet, der natürlich auch durch Lampen ersetzt werden kann.

Fig. 267 stellt die Schaltung dar. Neben dem Stationsamperemeter A ist noch ein für kleine Ströme berechnetes Amperemeter B vorhanden. Dieses letztere zeigt an, ob der durch den Widerstand geschwächte Strom kreist oder nicht. Kreist derselbe, so ist der Kurzschluss auf der Strecke noch nicht behoben, steht das Amperemeter B still, so ist die Streckenleitung offen. Der Hauptschalter bezw. der Automat kann alsdann wieder eingelegt werden. Hierbei darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass ein zufällig eingeschalteter Motorwagen, der etwa auf Strom wartet, sowie ein nach dem gemischten System (mit Schnellauflade-Akkumulatoren und direkter Zuleitung) betriebener Wagen die Kontrollmessung illusorisch macht. Es ist im Betriebe nichts natürlicher, als dass derjenige Wagenführer, der von dem Kurzschluss noch nichts weiss, immer wieder versuchen wird, seinen Wagen in Bewegung zu setzen, wodurch ein künstlicher Kurzschluss verursacht wird. Besteht nun die Fahrordnung, dass bei mangelndem Strome vom Wagenführer nur die Wagenglühlampen eingeschaltet werden dürfen, so werden hier durch die fünf Lampen 1000 Ohm dem Stationswiderstand vorgeschaltet. Befinden sich mehrere Wagen innerhalb der gestörten Strecke, so sind die Wagenlampenreihen untereinander parallel und zum Stationswiderstand in Serie geschaltet. Der Stromzeiger B darf daher zwischen offener Strecke und durch Lampenwiderstände geschlossener Strecke keinen Unterschied machen, dagegen soll er anzeigen, wenn die Leitung kurzgeschlossen ist. Man vergesse dabei nicht, dass 1 *km*

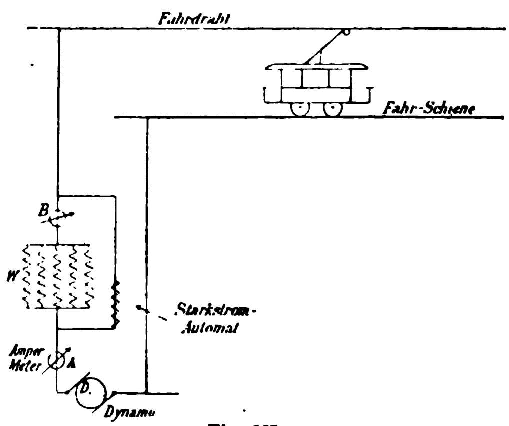


Fig. 267.

eingleisige Strecke rund 0,1 Ω Widerstand haben kann. Zieht man ferner in Betracht, dass z. B. zehn parallel geschaltete Wagenlampenreihen nur $\frac{1000}{10} = 100$ Ohm Widerstand haben, so ersieht man, dass der Stationswiderstand sehr klein sein muss, um einen merkbaren Stromunterschied bei der Kontrollmessung zu haben. Ein geringer Stationswiderstand aber giebt auf die Prüfstrecke einen solch grossen Strom, dass durch ihn dieselben Erscheinungen auftreten können, wie durch den mittels Automaten gesicherten Hauptstrom. Man erkennt hieraus, dass dieser Apparat nur ein beschränktes Anwendungsgebiet besitzt.

Ein durch den ausspringenden Automaten, bezw. ein durch den ausgehobenen Hauptschalter bethätigter Batteriestrom von wenigen

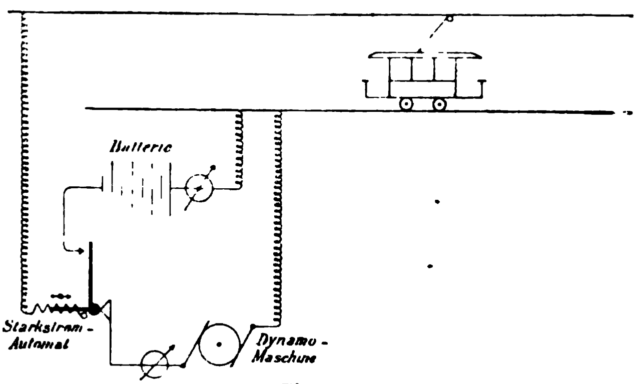


Fig. 268.

Volt Spannung ist für diese Zwecke bedeutend brauchbarer, da erstens die Stromstärken bezw. die zu überwindenden Widerstände grössere Abstufungen im Messbereich zulassen und zweitens der Prüfstrom eine absolut ungefährliche Spannung besitzt. (Fig. 268.)

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass beim Überfahren der Kreuzungen durch Wagen nicht gestörter Linien die Messeinrichtungen durch Starkstrom beschädigt werden können.

Die Ausübung der hier genannten Grundsätze hat Stobrawa (ETZ 1898, Heft 19, S. 287 ff.) zu einem optischen Kurzschlussprüfer folgender Anordnung geführt.

Dieser Apparat befindet sich in dem Kraftwerk zu Dresden beständig in Thätigkeit.

Die Vorrichtung besteht aus zwei parallel angeordneten Glühlampenserien, welche je durch die volle Betriebsspannung zum hellen

Leuchten gebracht werden können. (Fig. 269.) Die beiden Stromkreise werden durch den Streckenschalthebel, der nach Ausspringen

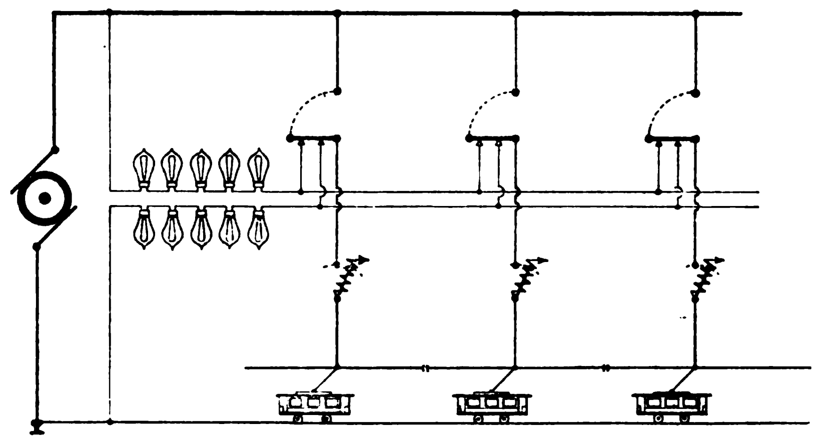


Fig. 269.

des Automaten herausgezogen wird, hintereinander und gleichzeitig an ihrer Kontaktstelle an die zu prüfende Speiseleitung angeschlossen.

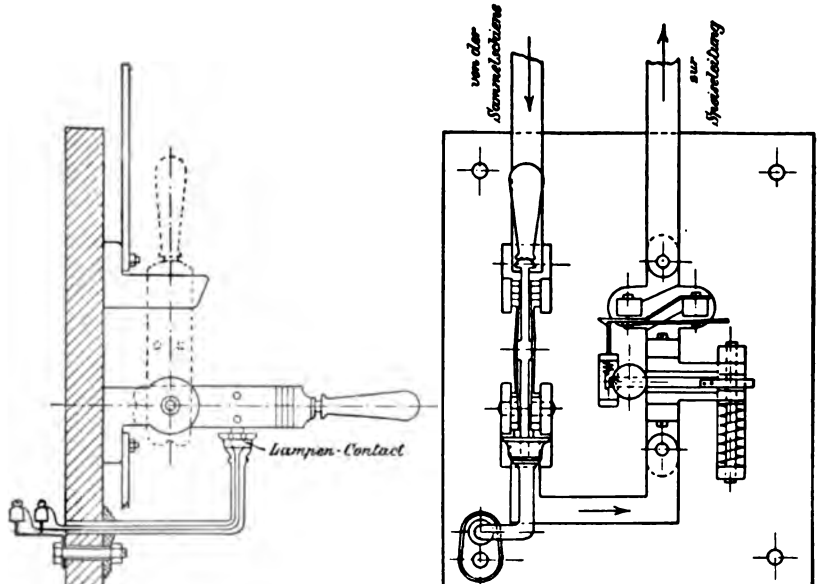


Fig. 270.

Bei vollkommener Isolation der letzteren brennen sämtliche 10 Glühlampen in Hintereinanderschaltung gleichmässig dunkelrot, wenn der

Automat bei geöffnetem Schalter wieder eingelegt worden ist. Je nachdem nun in der Speiseleitung der Isolationswiderstand gesunken ist, brennt die obere Lampenreihe heller als die untere, bis bei vollständigem Kurzschluss auf der Strecke die untere Lampenreihe dunkel bleibt, während die obere in hellstes Leuchten kommt. Die Abstufungen in der Leuchtkraft lassen bei einiger Übung in der Beobachtung schnell einen sicheren Schluss über die Vorgänge auf der Strecke zu, wobei die etwa eingeschaltete Wagenbeleuchtung nicht störend einwirkt, und derselbe Apparat auch für eine beliebige Anzahl von Speiseleitungen verwendet und an umfangreicheren Schalttafeln übersichtlich angeordnet werden kann.

Fig. 270 zeigt die konstruktive Anordnung der Kontaktvorrichtung für den Kurzschlussprüfer auf einer Platte der Verteilungsschalttafel im Querschnitt und in der Vorderansicht. Auf letzterem Bilde befindet sich links der Handschalter, rechts ein automatischer Ausschalter für dieselbe Speiseleitung.

8. Dreileitersystem.

Die Benutzung der Erde für die Leitung des Stromes bei elektrischen Bahnen hat den Übelstand gezeigt, dass der Strom seinen Weg zur Kraftstation nicht allein durch die Erde nimmt, sondern dass er naturgemäss auch den noch bequemeren Weg durch die im Erdboden liegenden, die Strombahn treffenden metallischen Röhren u. s. w. benutzt.

Um die zerstörenden Wirkungen zu vermeiden, hat man ausser den auf S. 134 ff. genannten Verfahren noch weiterhin in Vorschlag gebracht, die oberirdische Leitung als Aussenleiter eines Dreileitersystems anzuordnen und die Schienen bezw. die Erde als neutralen Mittelleiter zu schalten. Zu diesem Zwecke wird die Leitung in Teilstrecken zerlegt, die voneinander isoliert bleiben und abwechselnd mit der Plus- und Minusleitung verbunden sind, wie Fig. 271 dieses ohne weiteres veranschaulicht.

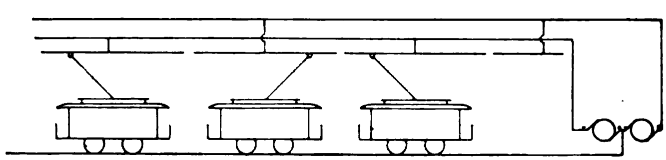


Fig. 271.

Bei zweigleisiger Bahnlinie ist die Sache noch einfacher, da die voneinander isolierten Teilstrecken in Fortfall kommen und die Plus- und Minusleitung aus dem Fahrdraht des rechten bezw. linken

Gleises gebildet wird. (Fig. 272.) Verlegt man bei eingleisiger Bahn mit Ausweichen doppelten Fahrdraht, so sind die Verhältnisse die gleichen, wie bei zweigleisiger Anlage. Es benutzt demnach der hinfahrende Wagen den rechten, der herfahrende den linken Fahrdraht.

Es ist nun ersichtlich, dass der Strom zum grössten Teil nur die zwischen zwei fahrenden Wagen liegende kürzeste Strecke der Schienen durchlaufen wird, und nur für den Fall, dass der Stromverbrauch beider Wagen sich nicht das Gleichgewicht hält, wird der überschiessende Strom die ganze Schienen- und Erdleitung bis zur + Klemme des Stromerzeugers durchlaufen.

Den im Erdreich vagabondierenden Strömen ist daher wenig Gelegenheit geboten, sich mit ihrem Wirkungskreise in die Nähe von Erdplatten der Telephone, von Gas- und Wasserröhren zu begeben, da der Hauptanteil des Stromes nur oberirdisch geführt wird.

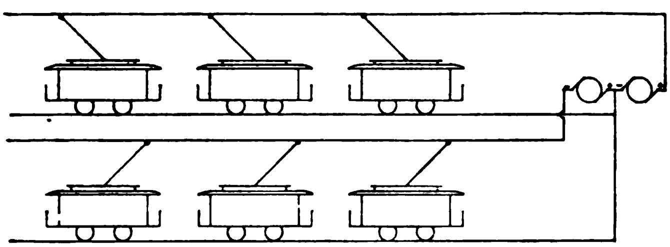


Fig. 272.

Die Luftleitungen gegeneinander haben bei diesem System die doppelte Spannung, als sie im Wagen herrscht. Die Isolation der Fahrdrähte muss der doppelten Spannung entsprechen. Auf den Vorteil der hohen Leitungsfähigkeit des Schienenweges wird zu Gunsten der schädlichen Nebenwirkungen verzichtet.

Ein Nachteil der Anordnung liegt darin, dass man für die gleichmässige Belastung der Aussenleiter Sorge tragen muss und dass die Isolation der doppelten Spannung wegen mit Schwierigkeiten verknüpft ist.

Man hat sogar darzulegen versucht, dass infolge der doppelten Betriebsspannung eine Ersparnis an Leitungsmaterial eintritt. Dieser Vorteil wird indess illusorisch, wenn man in Rechnung zieht, dass man für gewöhnlich den Schienenwiderstand sehr klein ansetzen kann. Tritt aber für diese Schienenleitung ein 50 *qmm* starker Draht, so ist dessen Widerstand gleich dem der Hinleitung, und die doppelte Spannung büsst für diesen Zweck ihren Vorteil ein. Was die Stärke der Speisekabel betrifft, so ist beim Dreileitersystem zwar ein halb so grosser Querschnitt als beim Zweileiter zulässig, aber

auch dieser Vorzug ist hinfällig, wenn man bedenkt, dass man stets die doppelte Zahl an Speiseleitungen (für jeden Aussenleiter einen) benötigt.

Das Dreileitersystem hat sich bei der Beleuchtung besonders gut bewährt, was auch dessen Einführung bei Bahnen den Weg ebnen hilft.

Bahnen mit Dreileitern sind im Betriebe in Portland, Oregon, Bangor M. E., St. Louis.

9. Das unterirdische Stromzuführungssystem.

(Unterleitung.)

Der Verbreitung, welcher sich das oberirdische Stromzuführungssystem (Oberleitung) seiner Billigkeit und Einfachheit halber erfreut, kann sich das unterirdische System (auch Unterleitung genannt) nicht rühmen, obgleich es für das innere Gebiet einer grossen Stadt geeigneter sein würde als das Drahtnetz einer oberirdischen Zuleitung, da von dem Kanal und den Leitungen überhaupt nichts auf den Strassen zu sehen ist, mithin eine derartige elektrische Bahnanlage äusserlich einer Pferdebahn vollkommen gleicht.

Das ältere System der Tiefleitung wird durch den nach oben offenen Schlitzkanal charakterisiert. In diesen Schlitz greift der Wagenkontakt hinein, um von den Leiterschienen den Betriebsstrom abzunehmen. Zugleich bietet aber der Schlitz auch dem Strassenschmutz, -Schlamm und -Wasser Eintritt in den Kanal und kann zwischen den stromführenden Teilen Kurzschluss begünstigen.

Die grundlegenden Bedingungen für die Konstruktion der Unterleitung sind: Vermeidung der Kurzschlussgefahr bei den herrschenden Betriebsspannungen, leichte Entwässerung und Reinigung der Kanäle, Durchbildung einfacher Weichen und Kreuzungen und Verwendung des dauerhaftesten Materials zur Herstellung des Kanals, um Reparaturen auf das geringste Mass herabzudrücken.

Man hat sich auch bemüht, den Kanal vollständig nach aussen abzuschliessen, um die obigen Bedingungen leichter erfüllbar zu machen. Somit kann man alle unterirdischen Stromzuführungen einteilen in diejenigen mit offenem und diejenigen mit geschlossenem Leiterkanal. Die erstere Art hat mehrfach Anwendung gefunden, während die letztere aus dem Stadium des Versuches noch nicht herausgekommen ist, indess des Interessanten soviel bietet, dass wir nicht darüber hinweggehen wollen.

Von Jahr zu Jahr häufen sich die Erfindungen und Konstruktionen auf diesem Gebiete, sodass es unmöglich ist, an dieser Stelle

auf alle Einzelheiten einzugehen; vielmehr muss hier die Beschränkung zulässig sein, über die auf dem Papier bestehenden Konstruktionen und Vorschläge hinwegzugehen und nur die wichtigsten ausgeführten bezw. in Betrieb gesetzten unterirdischen Stromzuführungen zu beschreiben. Nicht zum wenigsten hat ein vor einigen Jahren eingebrachtes amerikanisches Gesetz Anstoss zu gründlicher Lösung der »unsichtbaren« Stromzuführungen in Amerika gegeben, da hiernach bis zum Jahre 1900 alle oberirdischen Schwach- und Starkstromleitungen verschwunden sein sollten. Die amerikanischen Kabelbahnen, welche den elektrischen Bahnen weichen mussten, boten drüben eine günstige Gelegenheit, die vorhandenen Drahtseilkanäle für die unterirdische Stromzuführung mit Schlitzkanal auszunutzen.

a) Der offene Leiterkanal (Schlitzkanal).

Wohl als das älteste der unterirdischen Stromzuführungssysteme ist das Bentley-Knight'sche zu betrachten. (Vgl. Fig. 273.) Dasselbe besitzt einen vom Gleiskörper vollkommen abgesonderten Kanal neben der Schiene. Der Kanalschlitz sollte sich hier durch die eigenartig

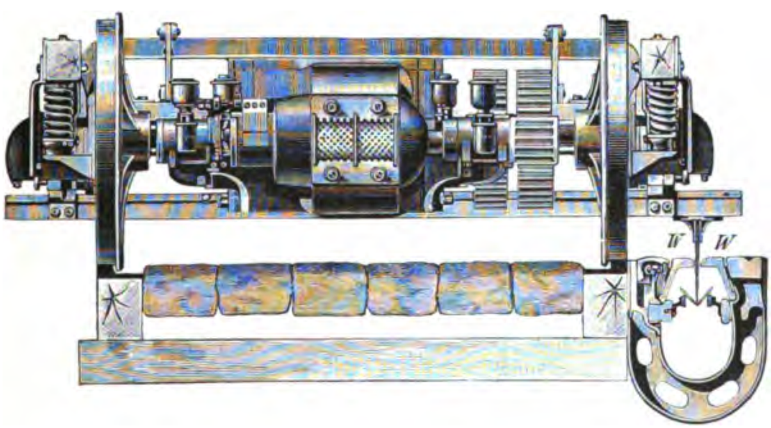


Fig. 273.

geformten und aufgestellten Winkeleisen W selbstthätig schliessen, sobald der Stromabnehmer diese Deckel bildenden Winkeleisen verlassen hatte. Nach diesem System sind Probeausführungen in Cleveland, Denver, Alleghany, Boston und New-York erfolgt, ohne für weitere Ausbildung durchschlagend geworden zu sein. Die Beweglichkeit der Deckelschienen in Strassenschmutz, Schnee und Eis konnte auf die Dauer nicht erhalten bleiben.

Die Union Electric Company baute in Philadelphia eine ähnliche Bahn.

Das in Blackpool in den achtziger Jahren zur Verwendung gekommene System von Holroyd Smith ist in dem Werke: »Elektrische Kraftübertragung« von Gisbert Kapp, 1891, I. Aufl., S. 285, näher beschrieben. Dasselbe widerspricht den heutigen Konstruktionsgrundsätzen, da der Kanal nicht tiefer als Schienenhöhe war.

Ein in England und Amerika zu einiger Bedeutung gelangtes System ist das von dem Amerikaner Love erfundene und nach ihm benannte System. Es ist praktisch in Washington von der Love Electric Traction Company ausgeführt und soll sich sehr bewährt haben.

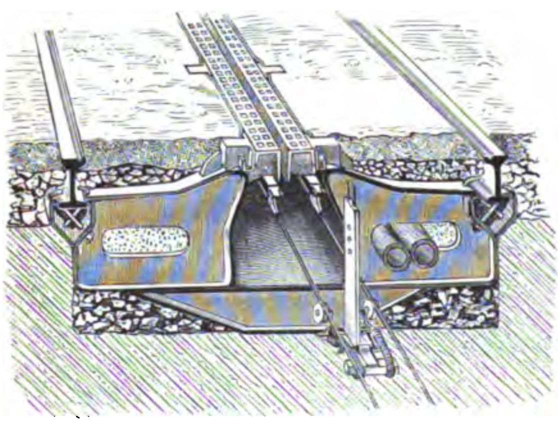


Fig. 274.

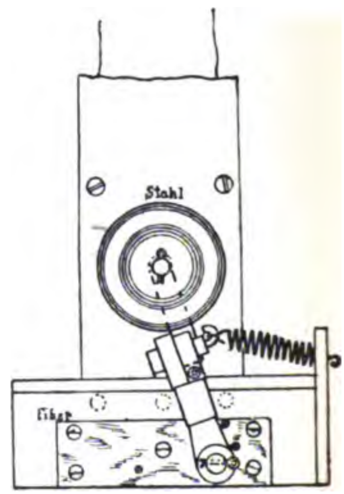


Fig. 275.

Love wendet eine mit Schlitz versehene Mittelschiene an, während die Laufschienen gewöhnlicher Art sind. Der unter der geschlitzten Mittelschiene liegende Leiterkanal ist so ausgebildet, dass die Stromleitung dicht unter der Strassenoberfläche liegt und somit noch weniger vom Strassenwasser erreicht wird. Auch ist die Kanalabdeckung so bewirkt, dass man jederzeit in das Innere des Kanals und zu den Stromleitungen gelangen kann. Die Stromleitung und Stromabnahme ist ähnlich wie beim oberirdischen System.

Durch die Fig. 274 und 275 ist das Wesentliche dieser Stromleitung gekennzeichnet. Eine grosse Schwierigkeit liegt auch hier in der isolierten Durchführung des Zuführungskabels zum Wagen. Das aus Stahlplatten gebildete Schlitzstück am Kontaktwagen ist der Abnutzung sehr unterworfen.

Ein unter dem Namen »Griffen« bekannt gegebener unterirdischer Stromleiterkanal ist der durch Fig. 276 gekennzeichnete. Hier beabsichtigt man, das Strassenwasser von dem Stromleiter durch die sonderbare Form des Kanalinneren abzuhalten. Eine bemerkenswerte Abänderung des Griffen'schen Systems ist durch Fig. 277 veranschaulicht.

Der Kanal ist in zwei eventuell wieder untergeteilte Abteilungen zerlegt, deren eine in ihrer oberen Wandung mit Längsschlitz a für den Durchzug des Kontaktträgers und im unteren Teile mit Auslassöffnungen für Wasser und Unreinigkeiten versehen ist. Die andere Abteilung dient zur Aufnahme der elektrischen Leitungen E, liegt seitlich zur Eingangsöffnung und besitzt in der Trennungswand einen Längsschlitz mit einer nachgiebigen Schliessvorrichtung F, welche vom Kontaktträger i mittels einer Rolle I geöffnet wird.

Der durch »Hörde« bekannt gewordene unterirdische Stromleitungskanal ist vollständig in Eisen hergestellt. Sowohl Querträger als auch Kanalröhre bestehen aus gepresstem Blech mit Versteifungsrippen. Der Hörde-Kanal zeigt in den übrigen Teilen grosse Ähnlichkeit mit dem Love'schen System und ist in einer Probestrecke auf dem Hüttenwerke zu Hörde ausgeführt worden. Praktische Anwendung im Betriebe hat derselbe noch nicht zu verzeichnen gehabt. Daher unterbleibt ein näheres Eingehen auf diese Ausführung.

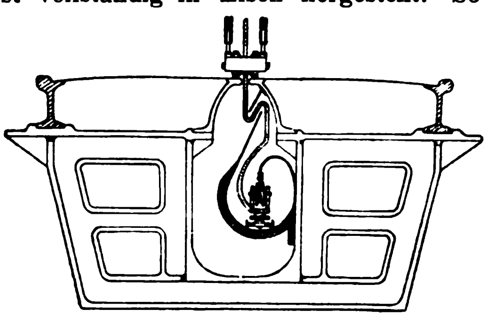


Fig. 276.

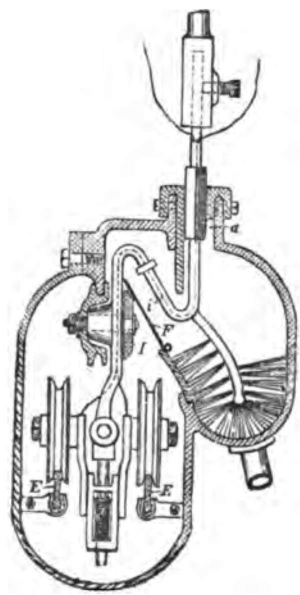


Fig. 277.

Die Bestrebungen der Firma Siemens & Halske A.-G., eine brauchbare Unterleitung zu konstruieren, datieren bis ins Jahr 1886 zurück. Zu dieser Zeit wurden in Wien und Budapest die ersten Versuche im Fabrikhofe und auf einer Versuchsstrecke gemacht, welche im Jahre 1889 zur Ausführung der Budapester Stadtbahn

führten. Der hier errungene Erfolg war für die weitere Anwendung und Ausbildung bahnbrechend. Während bei den vorher genannten Systemen der Kanal mit den Leitungen in die Mitte jeden Gleises oder seitlich des Gleises gelegt worden war, befindet sich bei dem System Siemens & Halske der Kanal unter der einen Fahrschiene. Durch den Fortfall besonderer Abdeckungen der Kanalöffnung ist hierbei weniger Eisen in der Strassenoberfläche erforderlich; die Spurrille der Schiene fällt mit der Öffnung des Kanals zusammen, sodass, wie beim gewöhnlichen Gleis, nur zwei Rillen die Strasse durchziehen. Die Stromleitung erfolgt hier in einem unterirdischen Betonkanal, welcher sich unter der einen Fahrschiene hinzieht, ein Eiprofil von 28 *cm* Breite 33 *cm* Höhe besitzt und am Scheitel entsprechend der 33 *mm* breiten Rille der Schiene aufgeschlitzt ist. Gusseiserne, 18 *cm* breite, dem Kanalprofil entsprechend geformte

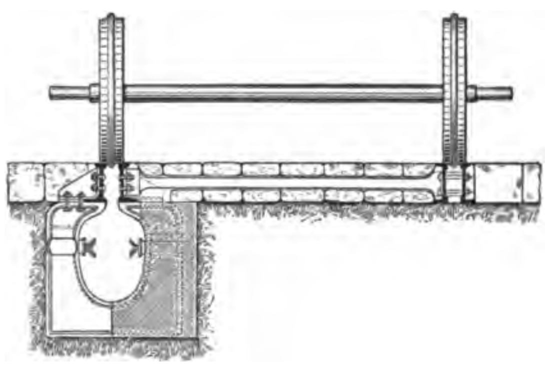


Fig. 278.

Rahmen, die in Abständen von 1,2 *m* aufgestellt sind und bei der Herstellung des Kanals als Anhalt für die Schablonen dienen, sind zur Versteifung desselben, sowie zur Unterstützung und Befestigung der Schienen, ferner zur Aufnahme von Isolatoren für die Anbringung der Stromleitungen im Kanal benutzt worden. Die den Einzelschienen der Haarmann'schen Zwillingsschiene ähnlichen Fahrschienen sind an jene Rahmen mittels schmiedeeiserner Winkellaschen angeschraubt; dieselben sind genügend stark, um in der Mitte zwischen zwei solchen Unterstützungsstellen die grösste vorkommende Strassenlast zu tragen. Hierdurch wird eine angemessene Nachgiebigkeit des Oberbaues und ein damit verbundenes weiches Fahren bewirkt. Um eine Verengung des Schlitzes durch Zusammenrücken der Schienen zu verhindern, ist der Schienenfuss abgesetzt und legt sich gegen eine Nase des Bockes. In die Seitenflächen der Rahmen sind hülsenförmige, horizontal gelegene Isolatoren mit Isoliermasse

eingegossen. Sie tragen die aus Winkeleisen 60 · 60 · 8 *mm* = 900 *qmm* hergestellten elektrischen Fahrleitungen mit einem Widerstand von 0,122 Ω/*km*, deren Anordnungen aus Fig. 278 hervorgehen. Zwischen diesen Winkeleisen schleift ein Kontaktschiffchen, (Fig. 279) das von einer unten am Wagen befestigten und durch die zweiteilige Schiene und den Schlitz hindurch in den Kanal hinabreichenden Vorrichtung mitgenommen wird und dergestalt beständig die Stromzuführung nach dem Wagen vermittelt.

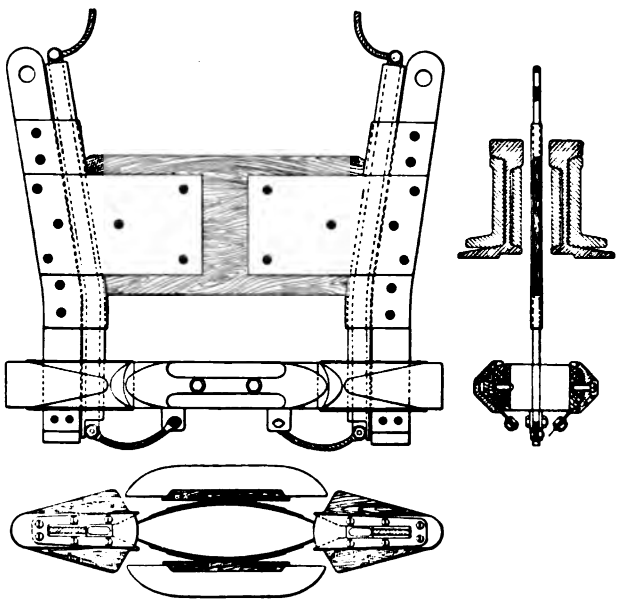


Fig. 279.

Eine spätere Abänderung dieses Stromabnehmers ist durch D. R. P. 101 884 bekannt geworden, da es nötig wurde, beim Übergang zur Oberleitung den Stromabnehmer aus dem Kanal herauszunehmen. Zu diesem Zwecke sind in den U-Eisen a (Fig. 280) um Stifte b drehbar, die plattenförmigen Schenkel d gelagert und werden durch Federn c auseinander gepresst. Die Schenkel d sind gelenkig mit den die senkrechten Leitungsplatten e tragenden Rahmen f zu einem Gelenkpolygon verbunden. Das Zusammenklappen des Stromabnehmers zwecks Einsetzens bezw. Herausnehmens aus dem Leitungskanal wird dadurch ermöglicht, dass die U-Eisen a vermittelst wagerechter Schenkel g in Bohrungen des Rahmens r verschiebbar sind.

Die Leitungen selbst liegen hinlänglich hoch über der Kanalsohle, sodass das im Kanal sich ansammelnde Wasser unter ihnen abfliessen kann. In geeigneten Entfernungen sind alsdann Sammelschächte für das Kanalwasser angeordnet, aus denen dieses Wasser der Strassenkanalisation zugeleitet wird. Die zweite Fahrschiene, unter der kein Kanal erforderlich ist, kann nach irgend einem Schienensystem angeordnet sein.

Die Stromleitung findet nur allein durch die Winkeleisenschienen statt, sofern nicht besonders verlegte, isolierte Speisekabel die Strom-

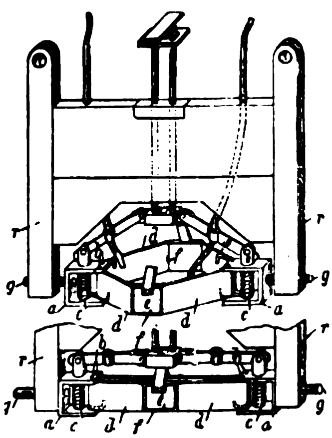


Fig. 280.

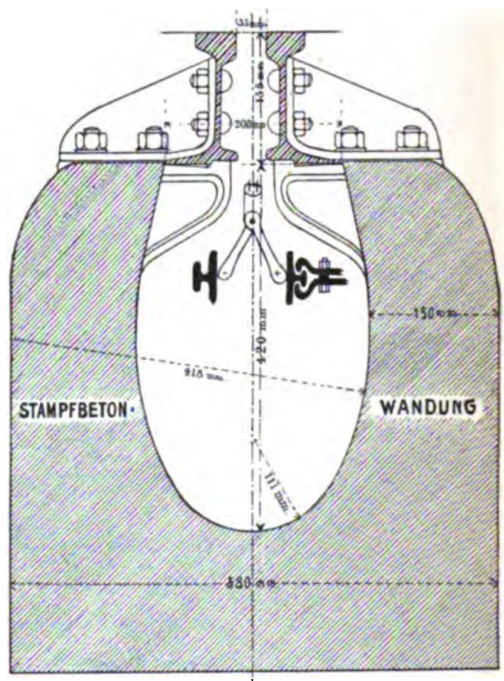


Fig. 281.

führung teilweise übernehmen. Die doppelpolige Stromleitung hat es auch erreichen lassen, dass der Isolationszustand stets der denkbar beste bleiben konnte und Erdströme vollständig vermieden wurden.

In dieser Ausführung hat sich das System für Budapest wirtschaftlich und technisch ausgezeichnet bewährt, was daraus hervorgeht, dass man in den Jahren 1895 und 1897 zu ganz bedeutenden Erweiterungen des Strassenbahnnetzes überging und hierbei einige kleine Abänderungen, die eine bequemere Bedienung der Stromleitung

ermöglichen, durchgeführt hat. Die Böcke umfassen mit zwei Armen das eiförmige Kanalprofil von 340 *mm* l. Weite und 420 *mm* l. Höhe. Sie stehen auf Schotterbettung und dienen als Rippen des Kanals, der in Stampfbeton auf Holzlehren ausgeführt ist. Der Kanal leitet das durch den Schlitz eintretende Tageswasser in die städtische Kanalisation. Zu diesem Zwecke ist alle 50 *m* ein Anschlussschacht mit Schlammfang und Rückstauklappe angeordnet. Die Reinigung des Kanals lässt sich leicht durch flache Schieber von der ungefähren Form des Kanalprofils bewirken. Auch der Stromabnehmer hat eine andere Konstruktion erhalten müssen, weil er beim Übergang von Oberleitung zur Unterleitung in den Kanal eingelassen werden musste und umgekehrt auch wieder leicht herausnehmbar sein sollte. Fig. 281 stellt den neuen Bock dar, dessen nicht sichtbare Umrisslinien durch den aus Stampfbeton hergestellten Cementkanal verdeckt sind. Die Isolatoren zum Halten der Stromleitungsschienen sind neuerdings nicht mehr an den gusseisernen Böcken horizontal befestigt, sondern zwischen denselben direkt an den Schienensteg in 2,5 *m* Entfernung angeschraubt, wie dies bei den nachstehend beschriebenen berliner Ausführungen der Fall ist. An Stelle der Winkelschienen sind die Stromleiter nunmehr Doppel-T-Schienen von 100 *qmm* Querschnitt und 10 *m* Länge, welche durch zangenförmige Klauen lose gefasst werden, um Temperaturbewegungen zuzulassen. Sie sind an den Stossstellen leitend verbunden und entsprechend an beiden Kanalwänden auf jeder Seite derselben angeordnet. Sie liegen vollkommen geschützt unter der Fahrschiene, sodass sie von oben durch den Schlitz weder gesehen noch berührt werden können. Gleichzeitig sind dieselben wieder, wie früher, über der Kanalsohle derart hoch angeordnet, dass das im Kanal sich etwa ansammelnde Tagewasser unter den Leitungen fortfliessen kann, ohne sie zu berühren. Sobald die mit senkrechten Tropfkanten versehenen Isolatoren von oben durch die entsprechenden, mit Deckel versehenen Öffnungen an den Schienensteg angeschraubt worden sind, werden die mit elastischen Verbindungen versehenen Stromleitungsschienen durch den Schienenschlitz hinuntergelassen und in die zangenförmigen Klauen eingehängt. Alle diese Manipulationen werden vorgenommen, wenn der Kanal vollständig fertig ist, die Fahrschienen verlegt und ausgerichtet sind und die Pflasterdecke hergestellt ist. Hieraus folgt, dass Isolatoren und Stromleiterschienen auch während des Betriebes herausgenommen und nachgesehen werden können, ohne dass es wie früher nötig wäre, das Pflaster aufzuheben oder den Kanal an der reparaturbedürftigen Stelle zu zerstören. Die Anordnung und Wirkung des Stromabnehmers ist in Fig. 281 schematisch angedeutet. Die beiden Pendel + und — (Stromabnehmerzungen) klappen beim

im Kanal angebrachten schiefen Ebene bewirkt, auf welcher der unterirdische Stromabnehmer herauf- bezw. hinabrollt. Gleichzeitig werden hierbei die Zuleitungen zum Motor für den unterirdischen

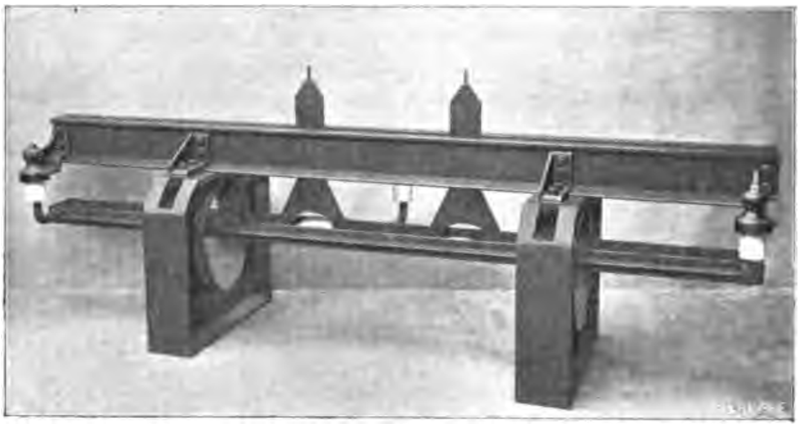


Fig. 283.

Stromabnehmer selbstthätig ausgeschaltet und mit dem oberirdischen Stromabnehmer verbunden.

Die zeichnerischen Darstellungen der berliner Ausführung sind aus Fig. 285 ersichtlich.

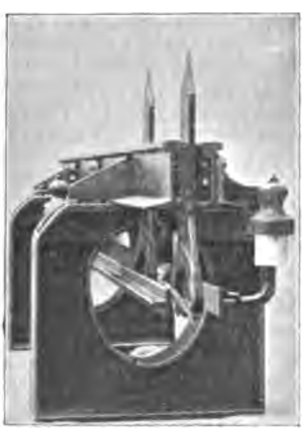


Fig. 284.

Bei diesem System ist die eine Fahrschiene des Gleises die gewöhnliche Rillenschiene, auf Beton oder Kiesbettung in üblicher Weise gelagert. Die andere Schiene des Gleises liegt auf dem Scheitel des Kanals und besteht aus zwei gleichen Schienen von besonderem Querschnitt, die zwischen sich einen Schlitz von 30 *mm* Breite frei lassen.

Die äussere dieser Doppelschiene dient dem Rade als Laufschiene. Der Schlitz nimmt den Spurkranz auf. Die Doppelschiene ruht in Abständen von 1,250 *m* auf gusseisernen Böcken, während sie in den Zwischenräumen freitragend ist. Die Befestigung der Schienen auf den Böcken geschieht durch schmiedeeiserne Winkellaschen, die den Schienenfuss

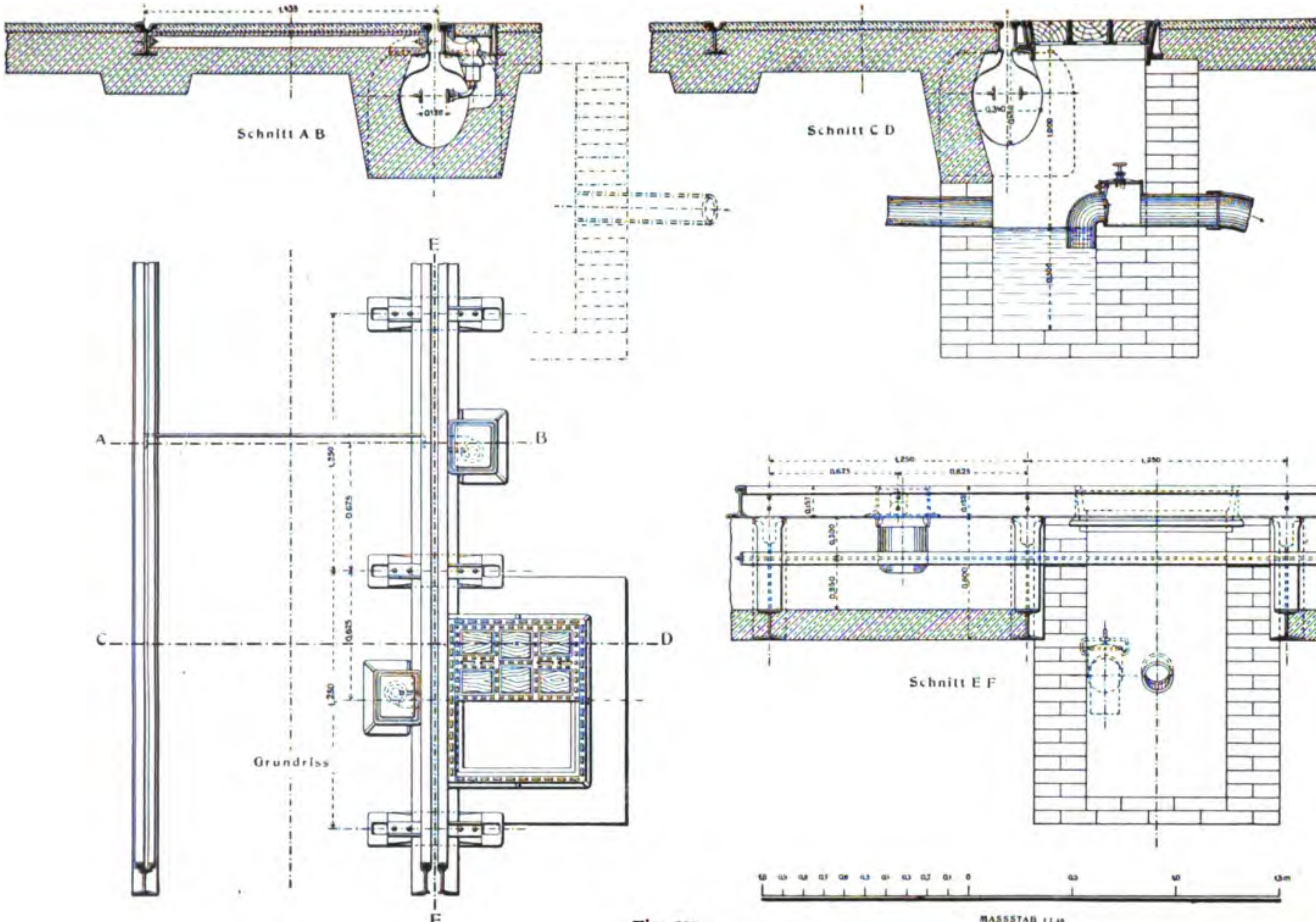

Schnitt A B
Schnitt C D
Schnitt E F
Grundriss
A
B
C
D
E
F
1,250
0,625
MASSSTAB 1:10

Fig. 285.

festklemmen und den Steg vermittelst zweier Schraubenbolzen festhalten.

Die Böcke umfassen mit zwei Armen das eiförmige Kanalprofil von 0,340 *m* lichter Weite und 0,450 *m* lichter Höhe. Sie stehen auf Schotterbettung und dienen als Rippen des Kanals, der aus Stampfbeton ausgeführt ist. Der Kanal nimmt die Stromleitungsschienen auf und leitet das durch den Schlitz eintretende Tageswasser in die städtische Kanalisation.

Ein mit einem rechtwinkeligen Arm versehener gusseiserner Bolzen trägt in einer Gabel die Leitungsschiene und zwar derart, dass der wagerechte Steg der Leitungsschiene durch einen senkrechten Stift in der Gabel befestigt wird. Der Kopf des Isolatorbolzens ist mit Isolationsmasse in einer Hülse befestigt, die durch ein Konsol an den Steg der Laufschiene derart angeschlossen ist, dass der Isolator seitlich vom Kanalschlitz zu liegen kommt und so gegen Tropfwasser geschützt ist.

Die Isolatoren sitzen in besonderen Aussparungen der Kanalwand und sind von einem gusseisernen Kasten umgeben, der in der Kanalwand einbetoniert ist. Durch einen bequem herauszunehmenden Deckel sind die Isolatoren für die Beaufsichtigung von oben her leicht zugänglich gemacht und durch Lösen des Rotgussstiftes an der Leitungsschiene mittels einer besonderen Handhabe, sowie durch Abschrauben des Isolators von der Fahrschiene schnell auswechselbar.

Um nötigenfalls auch die Leitungsschienen durch neue ersetzen zu können, ist an einzelnen Stellen der Strecke, besonders vor den Krümmungen, die innere der Doppelschiene, die sogenannte Zwangschiene, herausnehmbar eingerichtet.

Die Ausführung der Weichen bei unterirdischer Stromzuführung bietet insofern Schwierigkeiten, als es erforderlich ist, für die Weichenspitze besondere Träger anzuordnen, deren Unterstützungspunkte verhältnismässig weit von der Weichenspitze entfernt liegen müssen, damit durch dieselben die beiden hier abgehenden Kanäle, Haupt- und Weichenkanal, in ihrem Profil nicht eingeschränkt werden, wie dies die Figuren 286—299 zeigen.

Dieser Träger besteht aus einem kräftigen Stahlgussstück, das ungefähr 1,8 *m* freitragend ist und an dem vorderen Ende die bewegliche Weichenzunge trägt.

Diese Zunge ist an ihrer Spitze derartig ausgebildet, dass sie in die Fahrschienen hineinschlagen kann und auf dem Schienenfuss ihren zweiten Auflagepunkt findet. In ihren Endstellungen wird die Zunge mittels eines Daumens verriegelt.

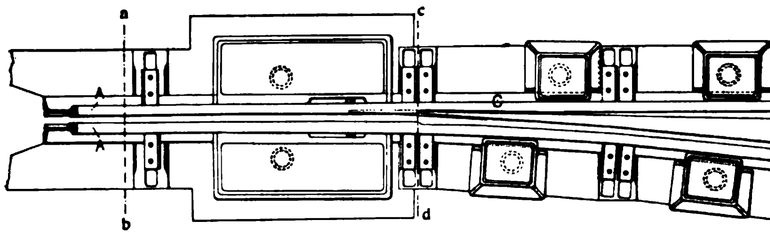
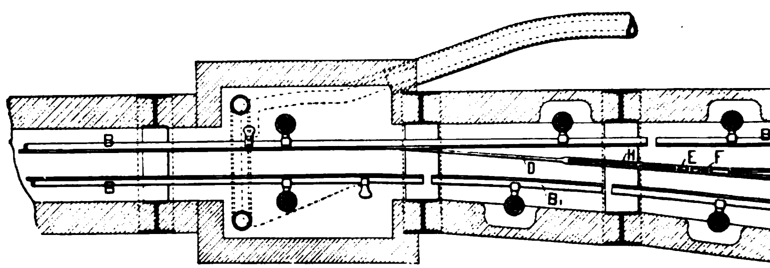
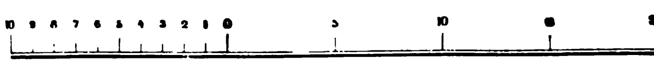
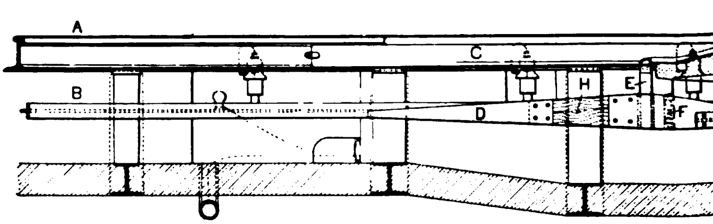


Fig.

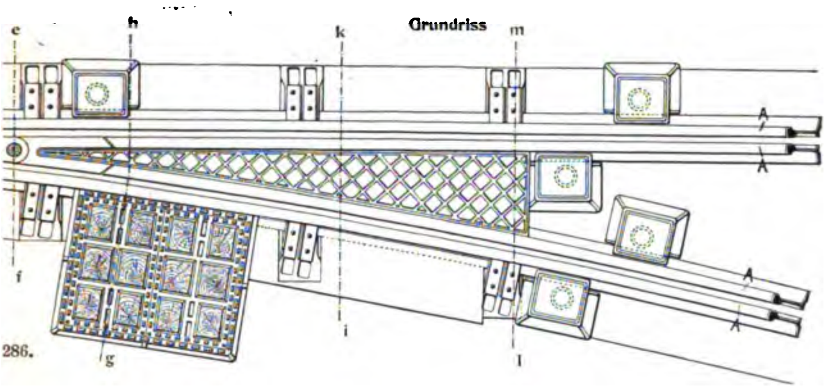


Massstab 1:35





Schiemann, Bahnen I.



286.

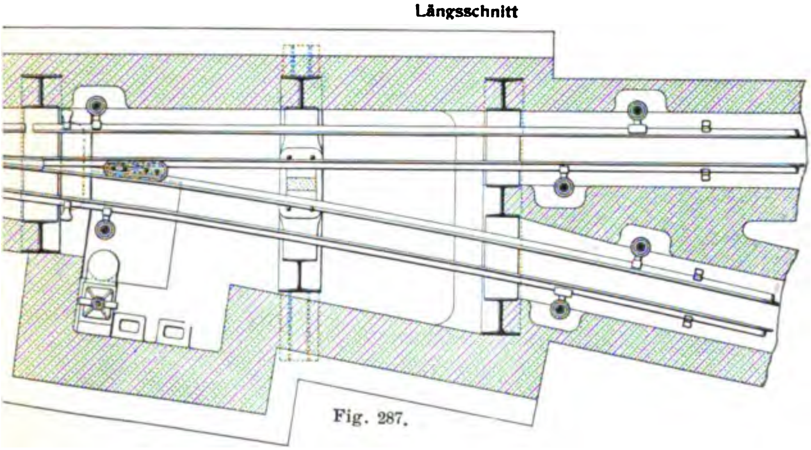


Fig. 287.

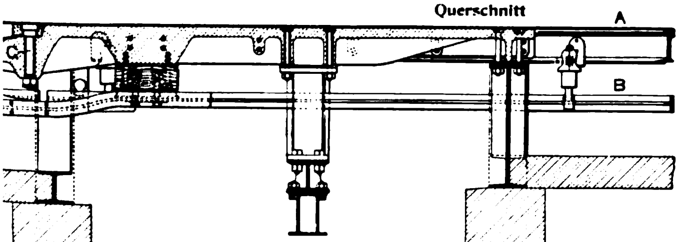


Fig. 288.

Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

Schnitt a b

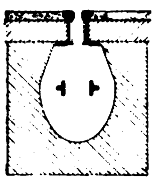


Fig. 289.

Schnitt c d

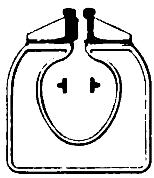


Fig. 290.

Schnitt e f

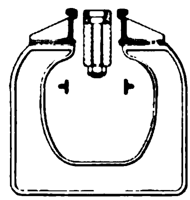


Fig. 291.

Schnitt g h

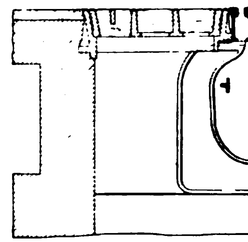
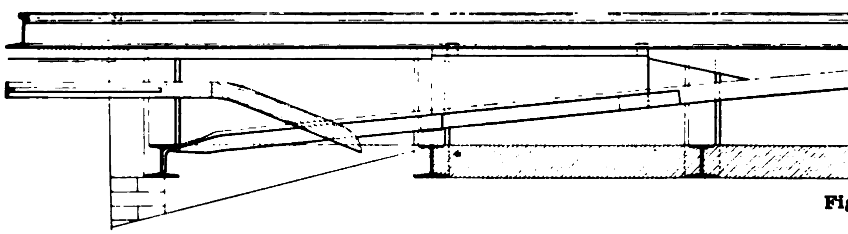
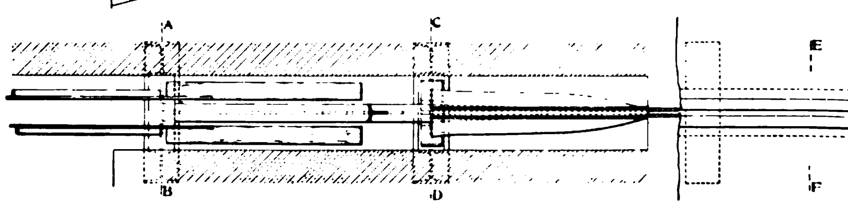


Fig. 292.



Fig



Schnitt A B

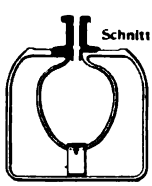


Fig. 297.

Schnitt C D

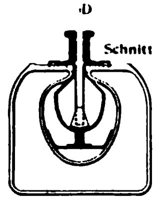


Fig. 298.

Sc

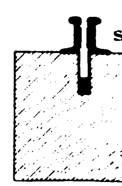
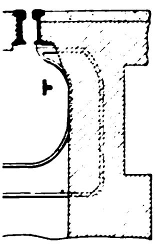


Fig. 299.



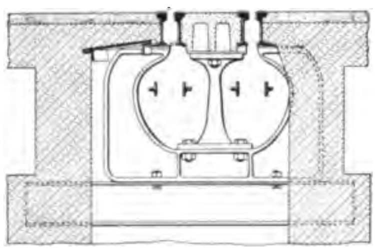


Fig. 293.

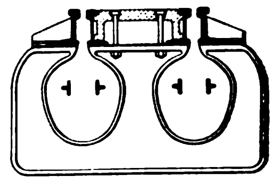
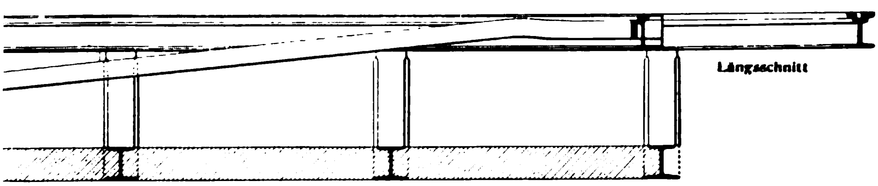


Fig. 294.



295.

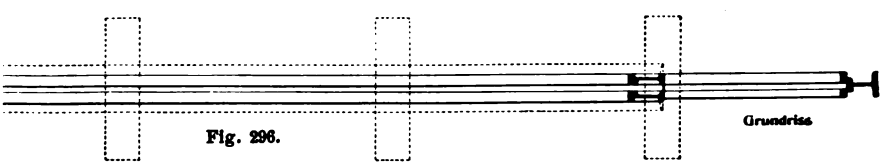


Fig. 296.





Verlag von Oskar Leiner in Leipzig

Die durch Patent geschützte Anordnung der Leitungsweiche ist aus den Figuren zu ersehen.

Es bedeuten hierbei A die Fahrschienen, B die Leitungsschienen, C die Weichenzunge der Fahrschienen mit dem Drehpunkt G und D die Weichenzunge der Leitungsschienen mit dem Drehpunkt F, E eine isolierte Verbindungsstange zwischen C und D. Die Weichenzunge D besteht aus einer elastischen Spitze, welche mit dem hinteren Teil durch ein isoliertes Stück H verbunden ist. Die Drehpunkte F und G sind derart gegeneinander verschoben, dass der Ausschlag der Leitungszunge D gegenüber demjenigen der Fahrschienenzunge C entsprechend der Entfernung der Leitungsschienen voneinander vergrössert wird. Dadurch kommt die Leitungszunge, je nach der Stellung der Fahrschienenzunge, mit der einen oder anderen Leitungsschiene in Berührung, sichert einmal einen glatten Übergang des

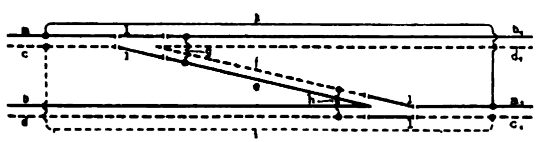


Fig. 300.

Stromabnehmers und vermindert zweitens die Länge des stromlosen Stückes auf das geringste Mass, entsprechend der Länge des Isolationsstückes H. Die Länge der in den Leitungsschienen eingeschalteten stromlosen Stücke B_1 ist grösser als die Länge des Isolationsstückes H; hierdurch wird erreicht, dass die Funkenbildung beim Befahren der Weiche stets an den Leitungsschienen B und niemals an der Zunge D auftritt. Der Drehpunkt der Leitungszunge D ist an den beiden zu diesem Zweck miteinander verbundenen Leitungsschienen B befestigt, welche deshalb im Gegensatz zu allen bisherigen Ausführungen gleichpolig sein müssen.

Die hierbei getroffene Anordnung der Stromleitungen ist in Fig. 300 gekennzeichnet, welche einen vollständigen Gleiswechsel einer zweigleisigen Strecke darstellt. a b c d sind die Leitungsschienen der beiden Gleise, e f diejenigen des Gleiswechsels. a b c d sind von a_1 b_1 c_1 d_1 durch isolierte Stücke l an jeder Weichenspitze getrennt.

Die unter jeder Spitze zusammenlaufenden Leitungsschienen b e und d_1 f sind unmittelbar miteinander verbunden. Ausserdem sind

die Leitungen a mit a_1, c mit c_1, e mit b_1 und d mit f durch je ein Kabel k, i, g und h verbunden, sodass die Stromleitung vollkommen geschlossen ist.

Die Stromabnehmervorrichtung für die beschriebene unterirdische Stromzuführung, die, wie oben erwähnt, nur auf der einen Seite des Wagens notwendig ist, besteht aus einem Gestell, welches am

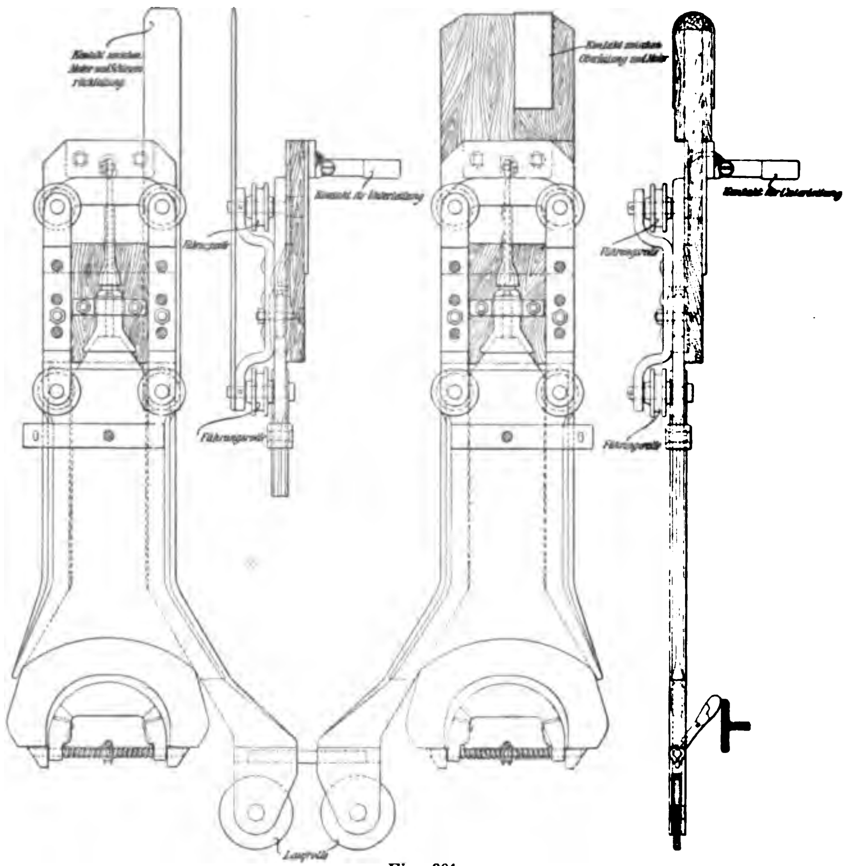


Fig. 301.

Wagen derart beweglich aufgehängt ist, dass es in wagerechter Richtung frei ausschwingen kann, damit der daran befestigte Stromabnehmer den Ausschlägen in Krümmungen und Weichen leicht folgt.

Der eigentliche Stromabnehmer Fig. 301 ist, der doppelten Leitung im Stromzuführungskanal entsprechend, zweiteilig ausgeführt.

Jeder Teil besteht im wesentlichen aus einem schmiedeeisernen Gehäuse, in dem eine isolierte eiserne Platte befestigt ist, welche an

ihrem unteren Ende eine Metallzunge trägt, die sich gegen die Stromleitungsschiene legt.

Diese Kontaktzunge ist bügelartig ausgeführt und wird durch zwei auf ihrer Drehachse befindliche Spiralfedern in nahezu wagerechter Lage gehalten. Die Federn gestatten, dass die Zunge sowohl senkrecht nach oben als auch senkrecht nach unten gestellt werden kann. Hierdurch wird erreicht, dass beim Hineinführen des Stromabnehmers in den Kanal die Zunge durch Anschlag an die Fahrschiene nach oben gedreht wird und ungehindert durch den Kanalschlitz geht, worauf sie auf die Leitungsschiene trifft. An diese wird sie alsdann in der niedrigsten Stellung des Stromabnehmers durch die Federn in schräg nach oben gerichteter Lage leicht angedrückt.

Beim Herausziehen des Stromabnehmers aus dem Kanal ist die Bewegung der Zunge der vorigen entsprechend umgekehrt.

Von der Kontaktzunge geht der Strom durch die Platte des Stromabnehmers und gelangt von hier mittels einer isolierten Leitung zu einer seitlich hervorstehenden Schneide, die sich beim Herablassen des Stromabnehmers in einen federnden Kontakt einlegt. Dieser Kontakt ist mit einer isolierten Schutzhülle umgeben und durch eine Leitung mit dem Wagenmotor verbunden.

Das Gehäuse trägt vier Rollen, deren Flansche am Wagenuntergestell befestigte, senkrecht stehende T-Eisen umfassen und so dem Stromabnehmer bei der Auf- und Abwärtsbewegung eine sichere Führung geben. (Fig. 282.) Das Heraufziehen und Herablassen des Stromabnehmers wird von dem Führerstande aus mittels einer Kette bethätigt, die am Rahmen des Stromabnehmers angreift und am Führerstande auf eine Spindel auf- bezw. von derselben abgewickelt wird.

Um einen möglichst schnellen und sicheren Übergang von der unterirdischen Leitung auf die oberirdische und umgekehrt zu ermöglichen, ist eine Einrichtung getroffen, die selbstthätig das Hinein- und Herausführen des Stromabnehmers aus dem Kanal bewirkt, wobei ebenfalls selbstthätig die eine Stromleitung abgeschaltet, die andere eingeschaltet wird.

Wie aus den Figuren 295—299 ersichtlich, ist dies dadurch erreicht, dass in dem Leitungskanal eine Auflaufschiene angebracht ist, welche im Kanal mit diesem gleichzeitig allmählich ansteigt und in die Spurrille der anschliessenden Fahrschiene übergeht. Auf dieser schiefen Ebene läuft der Stromabnehmer beim Übertritt von Unter- auf Oberleitung mittels zweier an dem unteren Teile der Gehäuse angebrachten Rollen bis zur Schienenoberkante herauf. Von Schienenoberkante bis 5 *cm* darüber muss der Stromabnehmer naturgemäss von Hand aus durch den Wagenführer gehoben werden.

Bei entgegengesetzter Fahrtrichtung findet der umgekehrte Vorgang statt, indem der Wagenführer nur die Klinke eines Sperrrades auslöst, das sich auf der die Aufzugskette bethätigenden Spindel befindet und ein Herabfallen des Stromabnehmers nach Feststellung verhindert. Nach Lösung der Klinke gleitet der Stromabnehmer durch sein Eigengewicht langsam auf der schiefen Ebene in den Kanal hinab, wobei die Laufrollen wiederum in Thätigkeit treten.

Beim Übergange von der unterirdischen auf die oberirdische Stromzuführung verlassen zuerst die oben erwähnten, seitlich vorstehenden Schneiden der Stromabnehmervorrichtung die federnden Kontakte. Alsdann erst werden die Kontaktzungen von den Leitungsschienen abgehoben und zwei an dem oberen Teile der Stromabnehmervorrichtung befindliche Schleifkontakte eingeschaltet, welche die Verbindung der Oberleitung mit dem Motor bezw. des Motors mit der Schienenrückleitung herstellen. (Fig. 301.)

Durch diese Anordnung wird erreicht, dass bei Unterbrechung der Kontakte einerseits die Funkenbildung niemals an den Leitungsschienen im Kanal, sondern nur an den Federkontakten unter dem Wagen entsteht, anderseits aber, dass der Strom während des Überganges nicht ausgeschaltet zu werden braucht, vielmehr der Wagen diese Strecke mit unverminderter Geschwindigkeit durchfahren kann. Der letztere für eine Grossstadt besonders ins Gewicht fallende Umstand wird bei den Ausführungen zum Teil dadurch erzielt, dass an der Übergangsstelle die Oberleitung noch auf einige Meter die Strecke mit Unterleitung überdeckt, sodass unmittelbar nach Abheben der Zungen des unterirdischen Stromabnehmers von den Leitungsschienen die oberirdische Zuleitung in Wirkung treten kann und umgekehrt. Zum grössten Teil aber wird dieser Umstand durch den oberirdischen Stromabnehmerbügel erreicht, der nicht, wie die Rolle, während des Stillstandes des Wagens mit der Oberleitung in Verbindung gebracht zu werden braucht, sondern bei voller Fahrt aufgeklappt werden kann und sofort in Berührung mit der Oberleitung tritt.

Die Betriebsspannung der alten Budapester Anlage (Stadtbahn) beträgt 300 Volt, die der neuen (Strassenbahn) 400 Volt, während die beiden berliner Anlagen mit 500 Volt betrieben werden.

Die von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellte Unterleitung (Dönhofsplatz — Lindenstrasse und Bülowstrasse) von insgesamt 876 *m* Länge ist nach gleichen Grundsätzen gebaut aber mit einigen Formveränderungen versehen worden.

Der Kanal wird ebenfalls aus gusseisernen Böcken Ca (Fig. 302 bis 305), den Stampfbetonformstücken Ha, dem Stampfbetonfundament Ja, den Lauf- bezw. Zwangschienen Ba und Bb und den Leitungsschienen Ga gebildet. Den Boden des Strassenkanals bildet eine

Stampfbetonunterlage J a von etwa 15 *cm* Dicke; auf dieser Unterlage stehen die gusseisernen Joche Ca (Fig. 303 und 305), auf welchen die Lauf- und Zwangschienen Ba und Bb, beide von gleichem

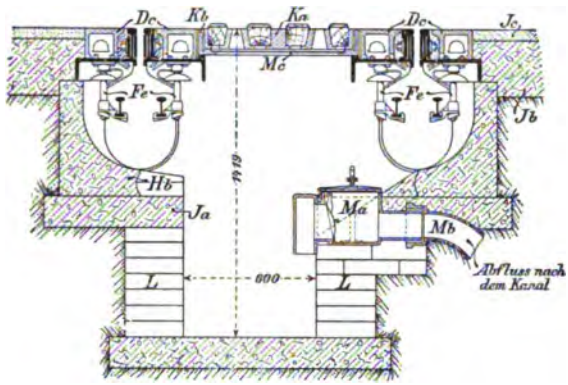


Fig. 302.

Profil, ruhen. Zwischen diesen Schienen bleibt der Kanalschlitz von 30 *mm* Breite zur Einführung des Stromabnehmers frei. Die

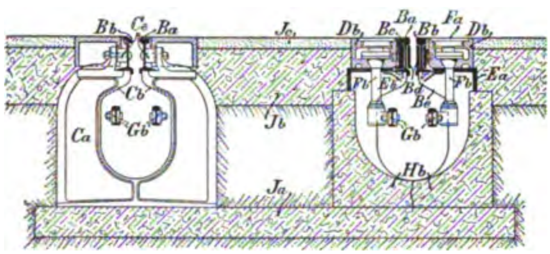


Fig. 303.

gusseisernen Joche stehen regelmässig 1,20 *m* von Mitte zu Mitte auseinander, nur die den Schienenstoss tragenden Joche sind auf

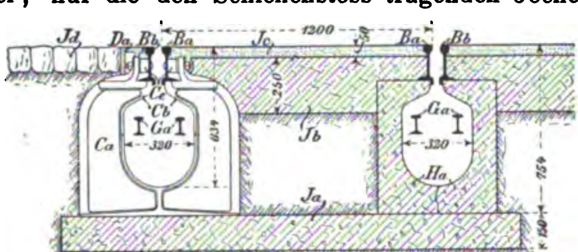


Fig. 304.

80 *cm* Entfernung gestellt. Der Kanalschlitz wird von Vignolschienen von 8 *m* Länge und 26 *kg/m* Gewicht gebildet, die, um einen besseren Wasserablauf zu sichern, mit einer unter dem Schienenfuss hervor-

springenden Kante versehen sind. Die beiden äusseren Stränge des Doppelgleises bestehen aus Haarmann'schen Verblattschienen. Die Vignolschienen sind an den Kanaljochen durch Schraubenbolzen und Beilagestücke Ce befestigt. Die Dicke dieser Beilagestücke kann man verändern und auf diese Weise den Kanalschlitz überall genau gleich breit machen. Der Schienenstoss ist schwebend konstruiert, durch Traglaschen gesichert und mit der elektrischen Schienenverbindung versehen, da die Unterleitung auch einpolig befahren werden soll, bezw. während der Berliner Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1896 befahren worden ist. Zwischen je zwei gusseiserne Joche werden nun, um den Strassenkanal abzuschliessen und sein Inneres zu einem vollkommen glatten, von allen vorspringenden Ecken und Kanten freien, oben offenen Rohr auszubilden, die bereits erwähnten Wände Ha aus Beton eingestampft. Dadurch wird dann der Strassenkanal zu einem in sich abgeschlossenen Ganzen von grösster Widerstandsfähigkeit gegen die schwersten Belastungen und gegen die Erzitterungen des Strassenkörpers. Entwässert werden die Strassenkanäle in der Weise, dass alle 40 *m* in wagerechter Strecke und in jedem Gefälleknickpunkt die Einsteigeschächte vertieft, d. h. als Schlammfang ausgebildet werden und eine Rückstauklappe mit Wasserverschluss erhalten, an welche die Abflussleitung nach dem städtischen Kanalisationssystem anschliesst. (Fig. 302 und 306.)

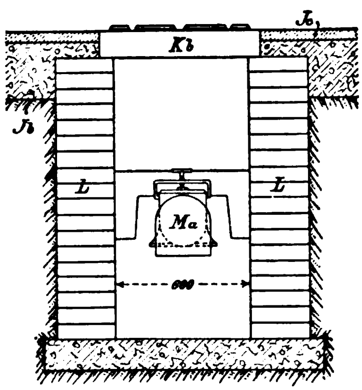
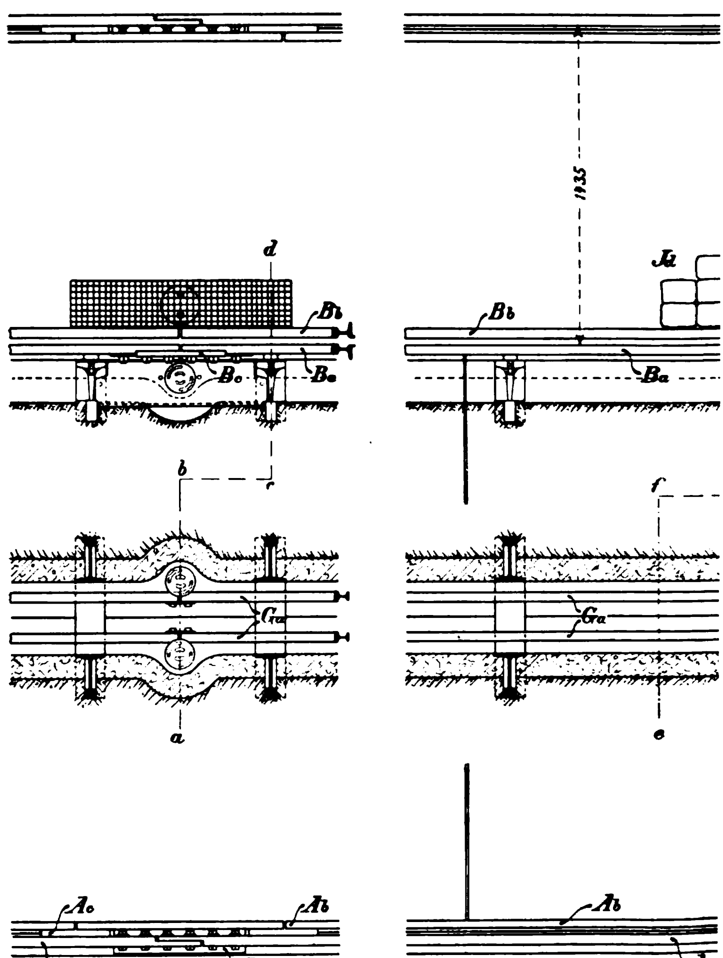


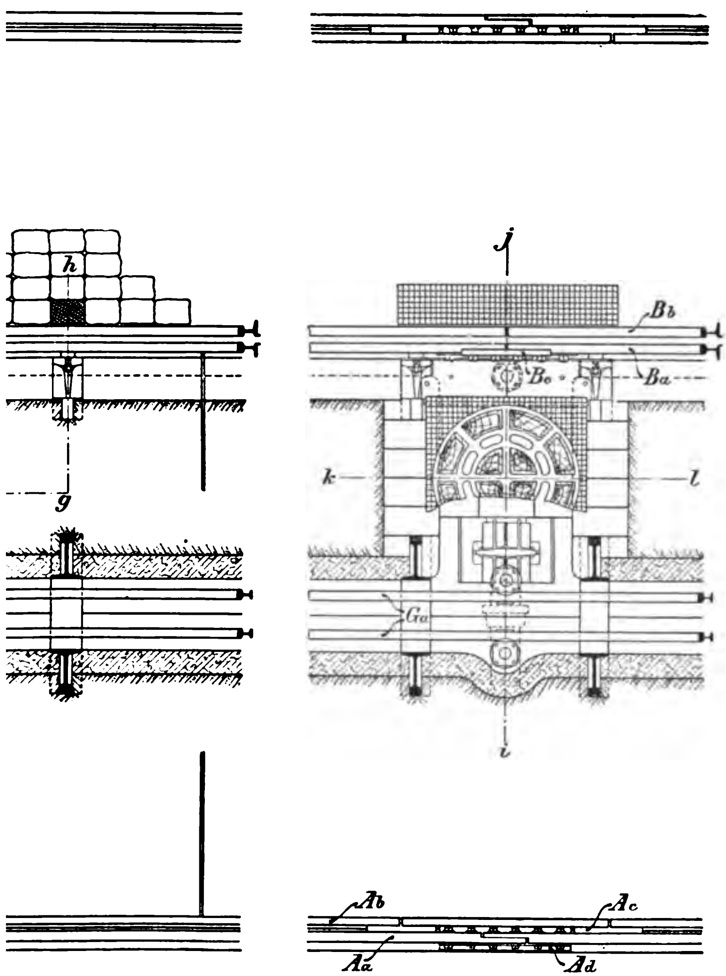
Fig. 306.

Im Innern des Strassenkanals, und zwar auf der Seite und durch den Kanalschlitz nicht sichtbar, laufen die Kontaktschienen Ga (Fig. 303 und 304) in Form eines aufrechtstehenden I-Eisens mit abgerundeter Oberfläche; sie haben wie die Laufschienen eine Länge von 8 *m*, sind verlascht und mit elektrischer Verbindung versehen. Der Isolator besteht aus einem mit bestem Eisengummi umpressten Stahlbolzen Fe (Fig. 302), durch die Isolierhülle ist er sowohl von der Kontaktschiene als auch von dem Winkeleisen und somit von allen Eisenteilen des Kanalkörpers isoliert. Um die Isolation auch bei starken Regengüssen und bei über den Isolator hinunterlaufenden Tagewässern zu sichern, hat man ihn in seinem oberen Teile mit einer Regenkappe versehen, welche den unteren Teil scharfkantig überdacht und dessen Trockenheit gewährleistet. Der Isolator kann von der Strasse her ausgewechselt werden, und zwar mittels einer entsprechend schmalen Abdeckung längs der Schienen.



Schiemann, Bahnen I.

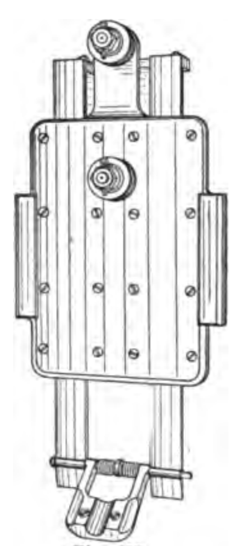
Fig.



305.

Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

In dem Schnitt a b c d (Fig. 303) und dem dazu gehörigen Grundriss (Fig. 305) ist die Anbringung der Isolatoren Fb dargestellt. Die Isolatoren hängen in der Mitte eines gusseisernen, etwa 1 *m* langen Kastens Db und sind in einem wagerechten Sitz mittels Flanschen und Schrauben in der Art befestigt, dass der Isolator zusammen mit seiner Kopfbekleidung aus dem Loch des Kontaktschienenhalters herausgezogen werden kann, wenn man die Schrauben löst und den Isolator mit einem besonderen Schlüssel um 90° nach links dreht. An der Stelle, wo man die Isolatoren auswechseln will, muss selbstverständlich die Kontaktschiene vor dem Herunterfallen gesichert werden. Dies geschieht durch ein Spezialwerkzeug, welches in den Kanalschlitz eingeführt und um 90° gedreht wird. Beim Auswechseln der Isolatoren muss der Kontaktschienenhalter, d. h. dasjenige Stück, in welches der untere Teil des Isolationsbolzens Fb hineingeht, und das zugleich als Stosslasche der Kontaktschiene dient, an seinem Platze verbleiben. Durch die allgemein übliche, doppelte Isolation, d. h. die Isolation einerseits der Kontaktschiene vom metallischen Kern und anderseits des Kernes von den Metallteilen des Kanalkörpers, wird es ermöglicht, dass zur Nachtzeit ein Isolator nach dem anderen daraufhin geprüft werden kann, ob etwa an irgend einer Stelle eine der beiden Isolationsschichten schadhaft geworden ist. Die Kastenträger Db erhalten in der Mitte zur Überdeckung des Isolationsbolzens einen kleinen Deckel Fa, welcher mit Bajonettverschluss an seinem Platze befestigt ist und mit Hilfe der zwei im Grundriss sichtbaren Löcher und einer besonderen Zange um 90° gedreht und abgehoben werden kann. An dem Winkeleisen Ea ist ein Abtropfblech Eb vorgesehen, um etwa im Laufe der Zeit in der Spalte zwischen der Schiene Bb und dem Rahmen Db sich ansammelndes Wasser derart zu leiten, dass es nicht auf die Oberfläche der Kontaktschiene hinuntertropft. Im übrigen zeigen die Figuren ein vollständig ausgerüstetes Doppelgleis, bei welchem die beiden äusseren Schienenstränge aus Haarmann'schem Verblattoberbau bestehen.


Fig. 307.

Der Stromabnehmer besteht aus einem Stahlgehäuse (Fig. 307), durch dessen Länge hindurch die beiden stromleitenden, von dem Gehäuse isolierten Klappenhalter führen, die am unteren Ende zwischen sich die federnde Kontaktklappe tragen. Befestigt ist der Stromabnehmer mittels zweier seitlich herausragender Zapfen z an

zwei schmiedeeisernen Parallelhebeln P und P[1] (Fig. 308), welche an ihrem anderen Ende an einer Konsole K drehbar angebracht sind. Diese Konsole ist ihrerseits fest mit den Längsträgern des Wagenuntergestelles verschraubt. Die zwei Drehpunkte am Stromabnehmer und die beiden Drehpunkte der Konsole befinden sich in gleichem senkrechten Abstande voneinander, und da ausserdem die Parallelhebel dieselbe Länge haben, so wird durch diese Drehpunkte stets ein Parallelogramm gebildet. Infolgedessen bleibt bei der Auf- und Abwärtsbewegung der Hebel der Stromabnehmer stets in senkrechter Lage. Mit dem oberen der beiden genannten Parallelhebel steht ein schmiedeeiserner Arm g in fester Verbindung, welcher durch ein Gelenk h mit einer Zug- und Druckstange verbunden ist.

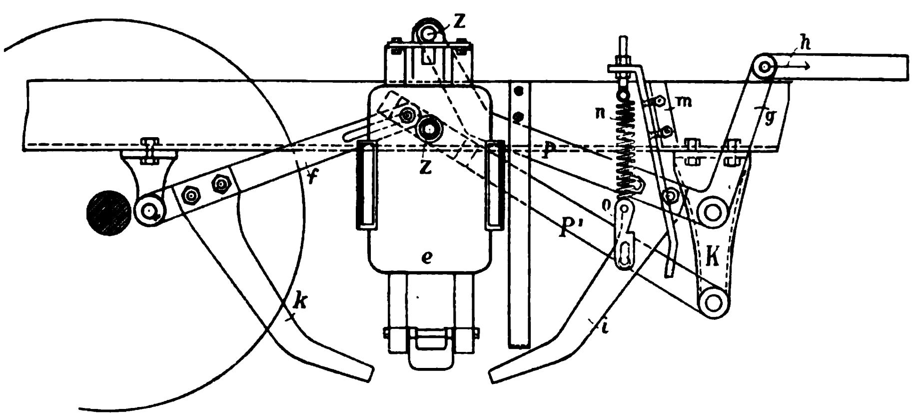


Fig. 308.

Diese Stange stellt die mechanische Verbindung zwischen dem Hebelwerk am Wagengestell und der Hebevorrichtung auf der Plattform her. Diese Hebevorrichtung wirkt derart, dass eine senkrecht durch den Boden der Plattform hindurchgehende Stange an den einen Schenkel eines Winkelhebels angreift, dessen anderer Schenkel gelenkig mit der vorerwähnten Zug- und Druckstange in Verbindung steht. Wird nun die Stange mittels eines in das Kopfende einzusteckenden Handgriffes hinuntergedrückt, so überträgt sich durch den Winkelhebel der senkrechte Druck auf die wagerechte Zug- und Druckstange, sodass der obere der beiden Parallelhebel, welche den Kontaktpflug halten, und damit auch der untere Hebel abwärts gedrückt wird. Bei diesen Hantierungen nun legt sich die federnde Kontaktzunge auf die Schienen, die Zungenhalter bewegen sich abwärts in den Schlitz des Stromleitungskanals hinein und zwingen die Kontaktzunge, sich zwischen ihnen in die Höhe zu drücken.

Sobald dann der Stromabnehmer so tief in den Kanalschlitz eingeführt ist, dass die federnde Kontaktklappe seitlich von der Schienenunterkante abschnappen kann, legt sich die Klappe auf die Oberfläche der seitwärts im Kanal liegenden Leitungsschiene und stellt die Verbindung zwischen der unterirdischen Stromzuführung und den Wagenmotoren her. Da nun aber beim Einführen des Stromabnehmers jedesmal Kurzschluss zwischen den oberirdischen Leitungsdraht und der Laufschiene mittels der Kontaktzunge entstehen würde, wenn diese mit dem oberirdischen Wagenkontakt in dauernder Verbindung wäre, so ist noch durch einen Umschaltmechanismus dafür Sorge getragen, dass stets entweder die oberirdische oder die unterirdische Stromzuführung an den Motor angeschaltet ist. Diese Umschaltvorrichtung wirkt gleichzeitig mit dem Auf- und Abwärtsbewegen des Stromabnehmers in der Weise selbstthätig, dass, sobald der Stromabnehmer hochgezogen, die oberirdische Leitung eingeschaltet, und der Stromabnehmer hinabgelassen wird, die unterirdische Stromzuführung mit den Motoren in Verbindung kommt. Jeder Motorwagen besitzt zwei der beschriebenen Vorrichtungen und zwar aus dem Grunde, weil der Stromzuführungskanal beim Doppelgleis stets nach innen und somit immer links von der Fahrtrichtung liegt. Der Wagenführer bedient von dem Führerstande aus immer den auf der linken Seite angebrachten Stromabnehmer, während der rechts angebrachte Stromabnehmer nur von der anderen Plattform aus bedient werden kann und in seiner höchsten Lage verbleibt. Zu erwähnen ist noch, dass diese Ruhelage des Stromabnehmers dadurch gesichert wird, dass das Kopfende der Plattformstange mit einem an der Plattform befestigten senkrechten Flacheisen durch einen quer durch beide Flacheisen hindurchgesteckten Klappenstift festgehalten wird, und dass folglich der Stromabnehmer erst dann hinabgedrückt werden kann, wenn dieser Klappenstift vorher entfernt worden ist.

Um zu verhindern, dass der Stromabnehmer durch ein in der Schienenrille befindliches Hindernis abgebrochen werden könnte, oder um ein selbstthätiges Ausheben des Stromabnehmers am Endpunkt der Unterleitung zu bewirken, falls der Wagenführer das Ausheben vergessen haben sollte, ist noch eine, in Fig. 308 und 309 dargestellte Vorrichtung angebracht.

An einem Halter m des Wagens ist eine Feder n nebst Gelenk o, welches mit einer in den Halter m einschnappenden Einkerbung versehen ist, aufgehängt, während mit dem Hebel P des Abnehmers ein Hebel i verbunden ist. Wenn i an ein Hindernis im Kanal stösst, so hebt sich der Stromabnehmer e, wie aus den Fig. 308 und 309 ersichtlich, selbstthätig aus dem Kanal heraus. Der Winkel-

hebel fk dient dazu, denselben Erfolg beim Rückwärtsfahren des Wagens hervorzubringen.

Fig. 308 stellt den Stromabnehmer in der ausgehobenen Stellung, Fig. 309 in der eingelegten Stellung dar. Man ersieht aus letzterer Figur, dass die Einkerbung im Gelenk o den Stromabnehmer in der untersten Lage sperrt und erst beim Ausklinken die Feder n zur aushebenden Wirkung gelangen lässt.

Am 28. Mai 1897 eröffnete die Société Anonyme des tramways Bruxellois eine von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft erbaute 10,5 *km* lange, doppelgleisige Strecke in Brüssel, welche des Näheren

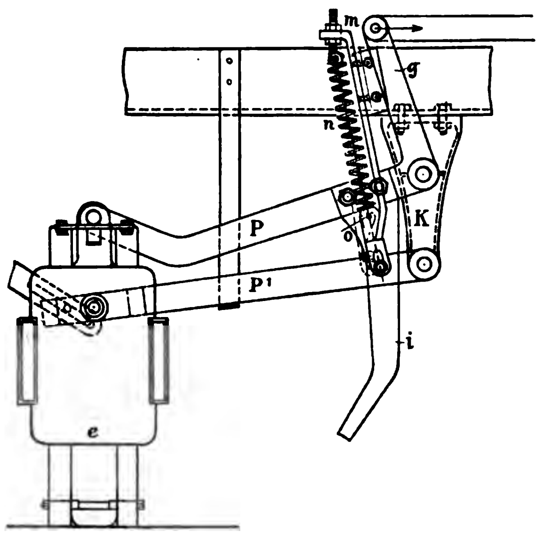


Fig. 309.

in der ETZ 1897, H. 45, S. 688 beschrieben ist. Die Ausführung lehnt sich fast genau an die vorher beschriebene berliner Anlage der Union E. G. an.

Das in Dresden in einer Länge von 466 *m* unter dem Namen des städtischen Baurates Klette bekannt gewordene und 1895 durch Siemens & Halske, A.-G. Berlin, zur ersten Probe-Ausführung gelangte System besitzt grosse Ähnlichkeit mit dem Bentley-Knight-Kanal und dem in Blackpool seiner Zeit angewandten System, mit welch' letzterem es die Abdeckung des Kanals durch besondere, die Schlitzbegrenzung bildende Deckel gemeinsam hat. Es ist die erste in Betrieb gelangte einpolige Unterleitung. Fig. 310 stellt einen Querschnitt und Längsschnitt der Strassendecke dar. Das Kon-

struktionsprinzip für diese Unterleitung war dadurch gegeben, dass man einen Kanal neben vorhandener möglichst unanzutastender Schiene bauen wollte, um die von der Stadt verwaltete Leitungsanlage der elektrischen Bahn (so wohl oberirdisch wie unterirdisch) völlig getrennt von dem den Strassenbahnen gehörigen Bahnkörper durchführen zu können. Bei der Ausführung stellte sich jedoch heraus, dass man Kanal und Gleis zusammen einbauen müsse, um eine sichere Lage des einen zum anderen zu erhalten.

In den Böcken sind die Isolatoren zur Befestigung der Stromleitung untergebracht und nicht direkt von oben zugänglich. Zwischen den Böcken ist die Pflasterdecke mit einem abnehmbaren, mit Cement und Asphalt gefüllten gusseisernen Deckel geschlossen, welcher zugleich die Begrenzung des neben der Schiene liegenden Schlitzes bildet. Bei abgehobenen Deckeln ist die Zugänglichkeit zum Isolator und zur Stromleitungsschiene ermöglicht. Eine besondere Schwierigkeit lag in der Konstruktion des Stromabnehmers, welche, da sowohl die Böcke als auch die Schienen gegenüber der Fahrleitung unter Spannung stehen, Kurzschluss bei den geringsten Beschädigungen des Stromabnehmers begünstigt. Die gusseisernen Deckel werden

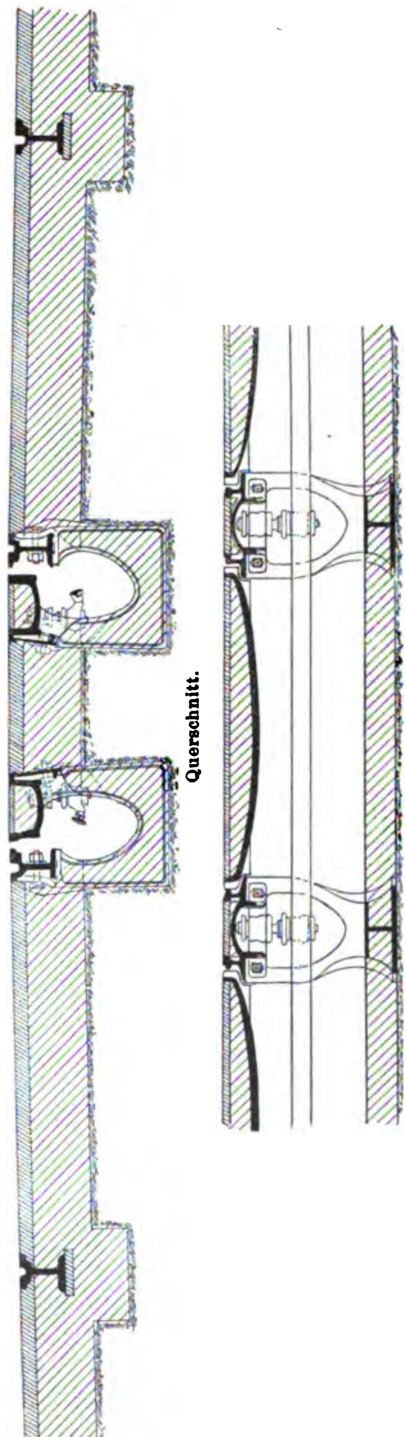


Fig. 310. Längenschnitt.

mit der Zeit klapprig, weil der Kanal geringe Bewegungen mit dem Erdreich mitmacht und die Deckel nicht nachgiebig sein können. Als ein besonderer Vorzug kann es nicht gelten, wenn der Isolator an dem unter Spannung stehenden Bock befestigt ist, ebensowenig lehrt diese Ausführung einen Vorteil des einpoligen Systems gegenüber dem zweipoligen, zumal die Herstellung des letzteren nur unbedeutend mehr kostet als die des ersteren.

Es ist bei diesem System besonders schwierig, Weichen und spitze Kreuzung herzustellen, weil der Kanal ausserhalb der Schiene und innerhalb der beiden Gleise liegt. Man hat sich bei den Weichen dadurch geholfen, dass man bei der Übergangsstelle zu beiden Seiten des Gleises Kanäle einbaute und von Hand oder selbstthätig die kontaktgebenden Stromabnehmer wechselt. Diese Überdeckungskanäle verteuern die Anlage und machen den Betrieb umständlich.

Die drei Rillen im Pflaster (zwei Schienenrillen, eine Schlitzrille für jedes Gleis) sind nicht zu den Annehmlichkeiten zu zählen, ebensowenig die Deckelkanten, die dem vorbeigeführten Stromabnehmer keine glatte Kante bieten. Kleine unvermeidliche Vorsprünge nicht ganz genau liegender Deckel beschädigen leicht den Stromabnehmer, der an sich ein sehr empfindliches Instrument darstellt. Man ziehe hierbei in Betracht, dass innerhalb einer 30 *mm* breiten Rille eine kupferne Leitung mit beiderseitiger Isolationsschicht und beiderseitiger eiserner Schutzwandung so angeordnet werden muss, dass noch genügend Luft für leichtes Durchführen durch den Schlitz bleibt. Beim zweipoligen System bedeutet diese Anordnung doppelte Isolation, während sie hier nur als einfache gegen die stromführenden Laufschienen und Böcke gelten kann. Die äussere Form des Stromabnehmers und der zur Bethätigung erforderliche Hebelmechanismus ähneln dem vorher beschriebenen, nur sind vorn und hinten kleine Rädchen so tief angebracht, dass bei der schrägen Aus- und Auflaufschiene im Kanal die Kontaktzunge nicht an diese anstossen kann.

Die Betriebsspannung dieser Anlage ist 500 Volt.

Die Unterleitung wird in Dresden nicht weiter eingeführt. Die Wandlungen, welche das dresdner System seit seinem ersten Auftreten durchgemacht hat, sind lehrreich genug, um erwähnt zu werden.

Die anfänglichen Missgriffe und Enttäuschungen bewirkten, dass man hier bald den Mut zur Weitereinführung verlor. Die Frage der Stromabnehmer für gemischten Betrieb (Oberleitung — Unterleitung) wurde hier grundlegend durch Stobrawa (1894) gelöst, und blieb das erste hier ausgeführte Modell für die Weiterbildung massgebend. Die Siemens & Halske'schen D. R. P. 82 911 und 86 775

legen Zeugnis von den ersten Konstruktionen ab. Die Form der Tragböcke wurde 3 mal geändert, um teils der Strasse, teils einer eisernen Brücke angepasst zu werden.

Von praktisch ausgeführten Unterleitungsstrecken in Amerika seien die bis zum Jahre 1896 errichteten Anlagen genannt:

1) Die Probestrecke der Metropolitan Traction Co. in Lenox Avenue, New-York, 4 *km*;
2) Die Linien der Metropolitan Railroad Co. in Washington;
3) Die Third Avenue Railroad in Amsterdam, Avenue New-York.

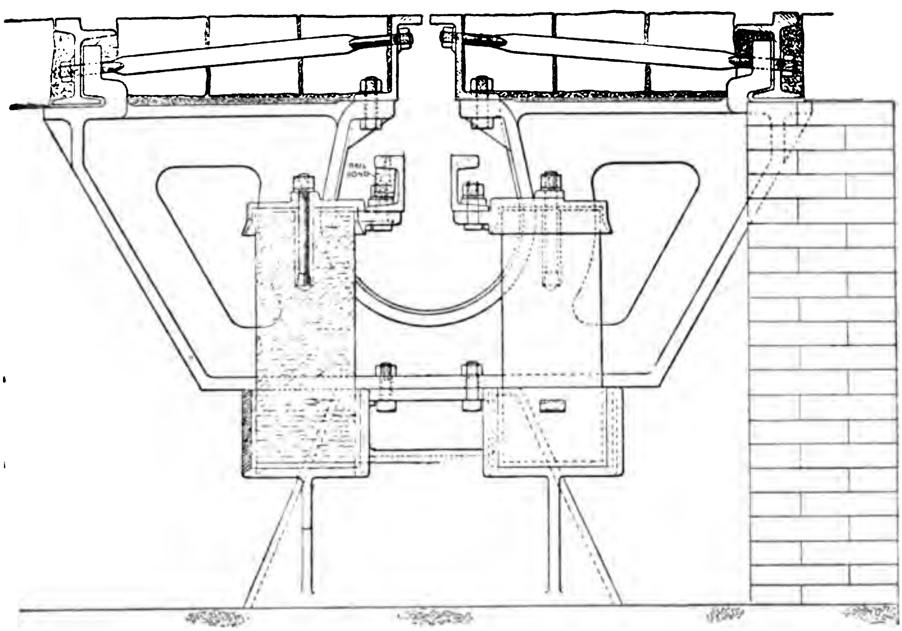


Fig. 311.

Das Merkmal der amerikanischen Unterleitungen ist, dass der Kanal stets in der Mitte des Gleises liegt, und dürfte diese Bauart ihre Vorgänger in den Kabelbahnen finden. Fig. 311 zeigt einen Querschnitt der New-Yorker Unterleitung. Einige Einzelheiten dieser Bahnen giebt Erich Rathenau in der ETZ 1896, H. 21, S. 315.

Ein Vorwurf, der von manchen der unterirdischen Stromzuführung gemacht wird, ist, dass ihr Wirkungsgrad nicht so hoch ist, als jener der Oberleitung. In dieser Beziehung bietet eine in »Sibleys Journal of Electrical Engineering« von den Herren Ogden und Heitkamp veröffentlichte Arbeit über Versuche, welche an

einer Bahn in Washington angestellt wurden, einiges Material. Im allgemeinen kommen diese Herren zu dem Schluss, dass ein erheblicher Unterschied im Wirkungsgrad nicht besteht. Die Linie hat die von ihrem Betriebsleiter Herrn A. N. Connett entworfene Stromzuführung, in welcher der Leiter aus einer auf Porzellanisolatoren befestigten und seitlich unterhalb des Schlitzes angebrachten Stahlschiene besteht. Die Linie ist doppelgleisig und $6^1/_2$ *km* lang. In der Centrale wird eine elektrische PS-Stunde mit einem Verbrauch von 1,16 *kg* Kohle erhalten und der mittlere Wirkungsgrad der Wagen, einschliesslich der Arbeitsverluste beim Anhalten, Anfahren und in Kurven ist 60 % ; bei der Fahrt mit normaler Geschwindigkeit ist er 76.4 %. Dabei ist der Widerstand auf ebenen graden Strecken zu 10 *kg*/Tonne angenommen.

Auf der Linie verkehren 26 Wagen in Abständen von durchschnittlich 500 *m*. Der ohmische Verlust der Hinleitung und der Schienenleitung schwankt zwischen 8 und 10,5 %, wobei die unterirdische Stromzuführungsschiene allein nur mit $2^1/_2$ % in Rechnung kommt. Interessant ist es auch zu bemerken, dass die Stromverluste durch mangelhafte Isolation der Hinleitung ziemlich gering sind. Bei stürmischem Wetter und nasser Strasse gehen auf der ganzen Strecke von 13 *km* Gleislänge nur 4 bis 5 Amp. verloren.

Alle diejenigen Konstruktionen unterirdischer Stromzuführungen, welche die denkbar beste Isolation gegen Erde sowie zwischen den Polen des Betriebsstromes erreichen, sind für den Betrieb und für geringe Betriebsverluste die am meisten begehrten. Es ist bekannt, dass der negative Pol eine bedeutend grössere Neigung zum Erdschluss besitzt als der positive, was zu ganz besonderer Vorsicht bei der Konstruktion mahnt.

Als Abschluss für die Unterleitungssysteme möge das Lachmann'sche Erwähnung finden, obgleich praktische Ausführungen desselben bis jetzt noch nicht zu verzeichnen sind.

Hier wird der Kanal aus zwei Fahrschienen gebildet, die, ähnlich der Haarmann'schen Doppelschiene, einen Zwischenraum zwischen sich lassen. Der Raum zwischen den beiden Köpfen und Stegen wird mit der Stromleitung belegt.

Die Stromzuführung kann durch den 30 *mm* breiten Schlitz, welcher als Rille für den Spurkranz der Haupträder des Wagens dient, nach Vollendung der Schienenverlegung in den Kanal hineingebracht und darin so aufgehängt werden, dass eine schnelle Entfernung und Ersatz durch neue Stücke ohne ein Aufnehmen des Kanalsystems stattfinden kann. Falls ein besonderer Kanal neben dem vorhandenen Geleise verlegt wird, wie Fig. 312 zeigt, können ebenfalls nach erfolgtem Kanalbau die einzelnen Teile leicht heraus-

genommen und durch neue ersetzt werden. Die eigentliche Stromzuführung besteht aus 2,5 *m* langen Blecheinsätzen E. Die Blecheinsätze werden vermittelst Bolzen in der Schiene gehalten. Die Einsatzbleche sind an ihren Enden durch keilförmige Teile, aus Isoliermaterial bestehend, luftdicht verschlossen. Hierdurch werden in dem oberen Teile, welcher zur Aufnahme des Stromzuleiters dient, Luftpolster hergestellt, welche verhindern, dass das eintretende Strassenwasser an den elektrischen Stromleiter herantreten kann. Wenn man ein Wasserglas umdreht und es mit der offenen Seite nach unten in eine Waschschüssel taucht, so bleibt der innere Boden wasserfrei ebenso bleibt das Einsatzblech, in das Strassenwasser getaucht, wasserfrei. Demnach kann sich der ganze Kanal und die Strasse mit Wasser füllen, der Stromleiter befindet sich dann doch noch immer in einem Luftraume.

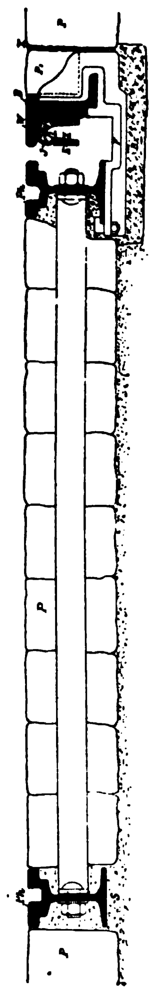


Fig 312.

Fig. 312 zeigt die Anordnung mit besonderem seitlichen Kanal neben vorhandenem Rillenschienengleis.

Der Erfinder hat sein System näher erläutert in den Mitteilungen des Vereins für die Förderung des Lokal- und Strassenbahnwesens 1896, Heft IV.

b) Der geschlossene Teilleiterkanal.

Verfolgt man die erteilten und nachgesuchten Patente aller Länder für diesen Gegenstand, so muss man erstaunt sein, wieviel Scharfsinn und geistige Arbeit zur Lösung der Aufgabe verschwendet worden ist. Praktische Versuche sind hier und da gemacht worden, aber nirgends ist eine endgiltige Konstruktion durchschlagend für das System geworden. Hier kann man in die Worte einstimmen, welche Erich Rathenau gelegentlich eines amerikanischen Reiseberichtes gebraucht: »Es giebt in der Elektrotechnik einige Gebiete, die in Verruf gekommen sind, weil sich die Erfinder zu viel und die Konstrukteure zu wenig mit ihnen abgegeben haben.« Hierzu sind die sogenannten Teilleiter- oder Knopf-Systeme zu rechnen.

Wir können es daher nur als unsere Aufgabe betrachten, in grossen Zügen den bisher verfolgten Weg der Erfinder zu skizzieren.

Die Schwächen aller bisherigen Teilleiterkonstruktionen bestehen im wesentlichen:

a) in der Schwierigkeit, einen dem Zweck entsprechenden Kanal im Strassenpflaster so zu verschliessen, dass er vor schädlicher Feuchtigkeit und schädlichen Gasansammlungen genügend geschützt werden kann;

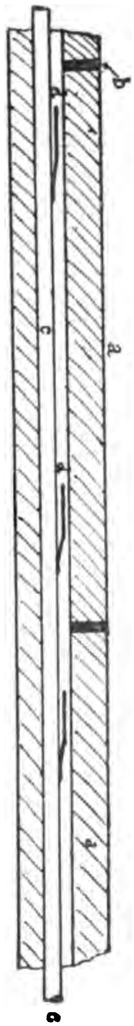


Fig. 313.

b) in der Schwierigkeit, die im Kanal liegenden Apparate und Kontakte auf die Dauer betriebsfähig zu erhalten;

c) in den hohen Kosten, welche die gute Isolierung zwischen dem Teilleiter und den als Leiter benutzten Laufschienen verursacht, um Kurzschlüsse und ständige Stromverluste zu vermeiden;

d) in der Schwierigkeit, Funkenbildungen, Abschmelzungen und Explosionen beim Ausschalten der Kontaktflächen in den Apparaten zu vermeiden;

e) in der Schwierigkeit, die Kontaktapparate leicht auswechseln zu können, um sie auf ihren Zustand in der Werkstatt prüfen zu können;

f) in der Betriebsunsicherheit, welche durch obiges bedingt wird.

Die Vorzüge des fraglichen Systems gegenüber dem oberirdischen Stromzuführungssystem sind lediglich in den Forderungen der Ästhetik, gegenüber dem Schlitzkanalsystem, in denen der Billigkeit im Bau zu suchen.



Fig. 314.

Eine der ältesten Konstruktionen ist die von Pollak & Binswanger, Paris (1886), und bestand im wesentlichen aus 1—1,5 *m* langen, nebeneinander parallel laufenden, elektrisch verbundenen, jedoch magnetisch voneinander isolierten Stromzuführungsstücken a. (Fig. 313 und 314.) Jedes solches Schienenpaar war von dem nächstfolgenden durch ein Zwischenstück b isoliert. Unter dieser Schienenlinie und zu ihr parallel befand sich ein Kabel c, das mit einem Pol der Elektrizitätsquelle verbunden war, wogegen mit dem anderen die gewöhnlichen Laufschienen in Verbindung standen.

An dem Kabel waren in kleinen Entfernungen voneinander kurze Bänder oder Streifen aus Eisen d befestigt und zwar so, dass sie nahe den Schienenstücken lagen, diese jedoch nicht berührten. Die Schienenstücke waren also stromlos.

Wenn sich so einem Schienenstücke ein Magnet, am zweck-

mässigsten von Hufeisenform, nähert, werden die Eisenbänder angezogen, kommen mit den Schienenstücken in leitende Verbindung, und der Strom kann oben abgenommen werden.

Einen solchen Magnet trägt der Wagen, der zu gleicher Zeit auch mit Elektromotor, Reguliervorrichtung u. s. w. ausgestattet ist. Der Magnet befindet sich unter dem Wagen und ist in der Mitte befestigt. Das durch denselben beeinflusste, stromabgebende Schienenstück liegt also unter dem Wagen. Da nun diese Schienenstücke kürzer sind, als die Hälfte des Wagens, so sind die Strassenpassanten keiner Gefahr ausgesetzt, auch wenn sie dicht vor oder hinter dem Wagen die Schienen überschreiten. Unter jedem Schienenstücke befinden sich zwei Kontakte, und der am Wagen befestigte Magnet ist so breit, dass beim Fortbewegen des Wagens die Kontakte des einen Stückes noch angezogen bleiben, während die des anderen schon angezogen werden; somit entstehen auch keine Abreissfunken innerhalb des Kanals, die ein Abschmelzen der Kontakte bewirken könnten und die Sicherheit des Betriebes in Frage stellen würden.

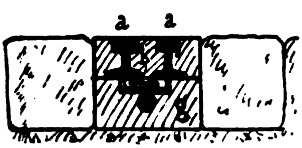


Fig. 315.

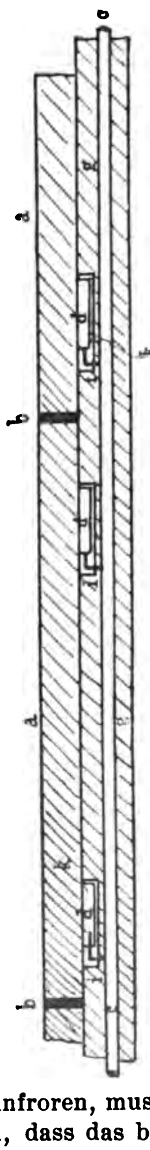


Fig. 316.

Das Spiel des Anziehens und Abfallens der Kontakte wiederholt sich beim Fortbewegen des Wagens längs der Strecke.

Die Schienen schliessen mit der Oberfläche der Strasse ab.

Als sich aber durch Versuchsstrecken herausgestellt hatte, dass ein vollständig wasserdichter Kanal in den Strassen praktisch nicht herzustellen und zu erhalten war, dass die Schienenstücke und Eisenbändchen, wenn auch verzinnt, rosteten und dadurch mangelhaften Kontakt gaben, dass bei regnerischem Wetter die Passanten infolge von Kurzschlüssen durch Feuchtigkeit elektrischen Schlägen ausgesetzt waren, und dass im Winter die Kontakte anfroren, musste diesen Übelständen dadurch Abhilfe geschaffen werden, dass das bleiumhüllte Kabel c in eine Holz-, Stein- oder Cement-Rinne g (Fig. 315 und 316) eingebettet und mit Isoliermaterial umgossen wurde. Von

diesem Kabel führen Abzweigungen i, auch unter Blei, zu den beweglichen Kontaktstücken d, die sich in hermetisch geschlossenen, aus nicht magnetischem Metall hergestellten Büchsen k befinden und darin so angebracht sind, dass sie mit den Büchsen nicht in leitender Verbindung stehen. Diese Büchsen sind an den Schienenstücken befestigt und folgen diesen bei jeder etwaigen Deformation. Es kann also bei dieser Konstruktion durch die Annäherung der Schienenstücke zu keiner Verbindung mit dem Kabel oder den Kontaktbändern kommen. Der Abstand des Kontaktstückes von der Wandung der Büchse und Schiene bleibt immer derselbe. Das Kabel c kann auch neben den Schienen liegen, ferner kann dasselbe sehr dünn sein und von Strecke zu Strecke mit einem Hauptkabel in Verbindung gesetzt werden. Die Kontaktbüchsen werden bis zu einer Stromstärke von 100 Amp. gebaut, und da sie hermetisch verschlossen sind und keine Funkenbildung stattfindet, bleiben die Kontakte rein und verlässlich. Feuchtigkeit übt keinen Einfluss mehr aus, der Betrieb

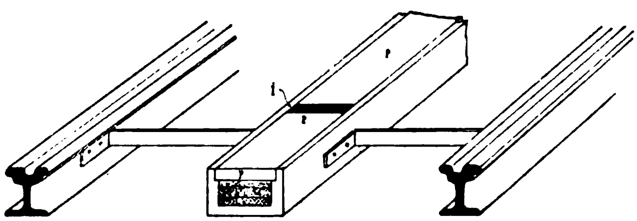


Fig. 317.

wird durch Kälte nicht gestört. Ein Betrieb hat sich jedoch auch mit diesen genannten Verbesserungen nicht durchführen lassen.

Diesem System ähnlich ist das Lineff'sche elektro-magnetische Teilleitersystem. Ein kräftiger Wagenmagnet zieht auch hier eine stromschliessende Zunge an entsprechende Kontaktschienen. Diese Konstruktion harrt zur Zeit in Moskau ihrer Anwendung im Grossen.

Auf der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt am Main zeigte die Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert & Co. in Nürnberg auf der Strecke »Ausstellung-Mainufer« eine recht eigenartige Stromzuführung. In einem kleinen, geschlossenen, unmagnetischen Kanal in der Mitte des Gleises lag auf dem Boden ein blanker Leiter L. (Fig. 317.) Die Decke des Kanals war gebildet aus kurzen Eisenplatten P von halber Wagenlänge, welche in der Längsrichtung ebenfalls voneinander durch das Zwischenstück i isoliert waren. Der von Deckel P und Leiter L gebildete Zwischenraum war etwa zur Hälfte mit Eisenfeilspänen ausgefüllt. Der Wagen besass in der Mitte einen Elektromagneten, welcher die Eisenfeil-

späne anzog. Diese wiederum bildeten, solange als der Magnet darüber stand, eine leitende Verbindung zwischen Boden und Deckel und gaben so den Wagenschleifbürsten am Deckel den Betriebsstrom. Ausserhalb des Wagenbereiches war keine Verbindung vorhanden. Der Magnet hatte indessen nach sehr kurzem Betriebe die Feilspäne zu Haufen zusammengetragen, sodass diese ständigen Stromübergang schufen. Der Kanal musste daher in seiner Längsrichtung in Abteilungen zerlegt werden, indem in geeigneten Entfernungen isolierte Zwischenwände vom Boden bis zum Deckel eingefügt wurden. (Fig. 318.) Nachdem diese Schwierigkeit auf recht einfache Art beseitigt war, stellte sich ein anderes, bis jetzt unüberwundenes Hin-

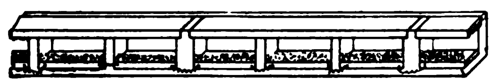


Fig. 318.

dernis in den Weg. Die Eisenspäne rosteten in dem nicht hermetisch verschliessbar herzustellenden Kanal und wurden so zu Isolatoren anstatt zu Leitern. Falls man die Eisenspäne vernickeln, versilbern oder vergolden würde, wäre ein Erfolg zu erwarten.

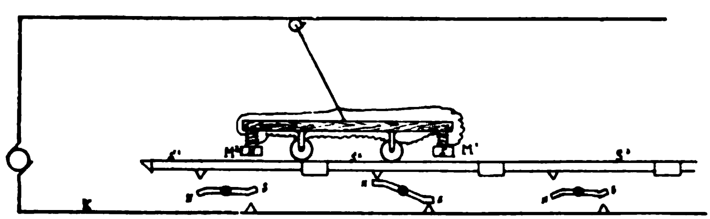


Fig. 319.

Die Firma Siemens & Halske hat sich eine Ausführungsart patentieren lassen, welche in der unterirdischen Anwendung polarisierter oder Elektromagnete beruht und schematisch in Fig. 319 dargestellt wird.

Der Wagenmagnet M^1 in Fig. 319 bethätigt, wenn er über den im Kanal befindlichen Magneten hinwegfährt, denselben so, dass er als Stromleiter zwischen Kabel K und der Teilleiterkontaktschiene S^1, S^2, S^3 (so genannt, weil nur immer der unter dem Wagen befindliche Teil der Kontaktschiene mit Strom versehen wird) dient, während der Magnet M^2 denselben in die stromlose Lage zurückversetzt, wenn die Fahrtrichtung des Wagens in Richtung des Pfeiles erfolgt. Die Polarität der Wagenmagnete wird bei wechselnder Fahrt-

richtung des Wagens ebenfalls entsprechend gewechselt. Mit einem einzigen, in seiner Polarität stets gleichbleibenden Wagenmagneten erreicht man denselben Zweck, wenn man den Kanalmagneten so lange gesperrt hält, bis die Stromabnahme von der nächsten Teil-

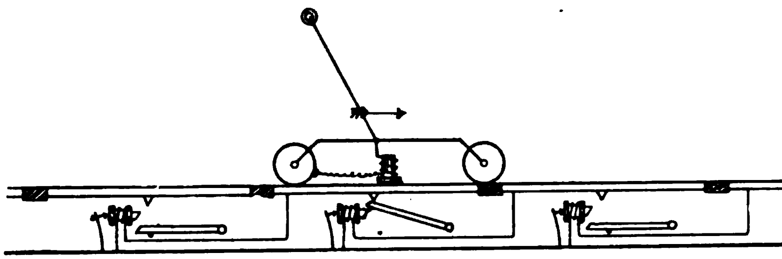


Fig. 320.

leiterschiene erfolgt, wodurch die Sperrung elektromagnetisch ausgelöst wird und eine den Kontakt unterbrechende Feder zur Wirkung kommt. Fig. 320 veranschaulicht das Prinzip.

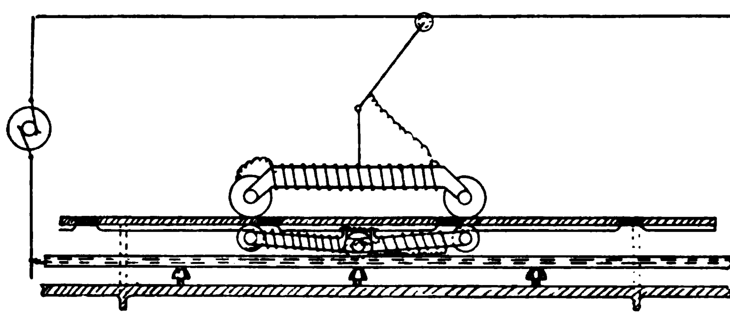


Fig. 321.

Die verschiedenen Ausführungen dieser Grundideen sind interessant zu verfolgen und es möge auf die diesbezüglichen Patentschriften verwiesen werden.

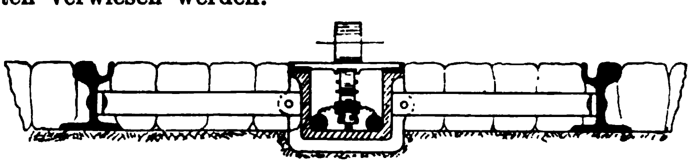


Fig. 322.

Eine von obigem abweichende Form sei hier in Fig. 321 und 322 erwähnt.

In einem ebenfalls geschlossenen Kanal ist die Speiseleitung als blanke Laufschiene für einen Stromschlusswagen eingerichtet. Der

Wagen, welcher auf ein- oder zweischieniger Bahn läuft, wird als fahrbarer Elektromagnet ausgebildet, der mit Haupt- oder Neben-

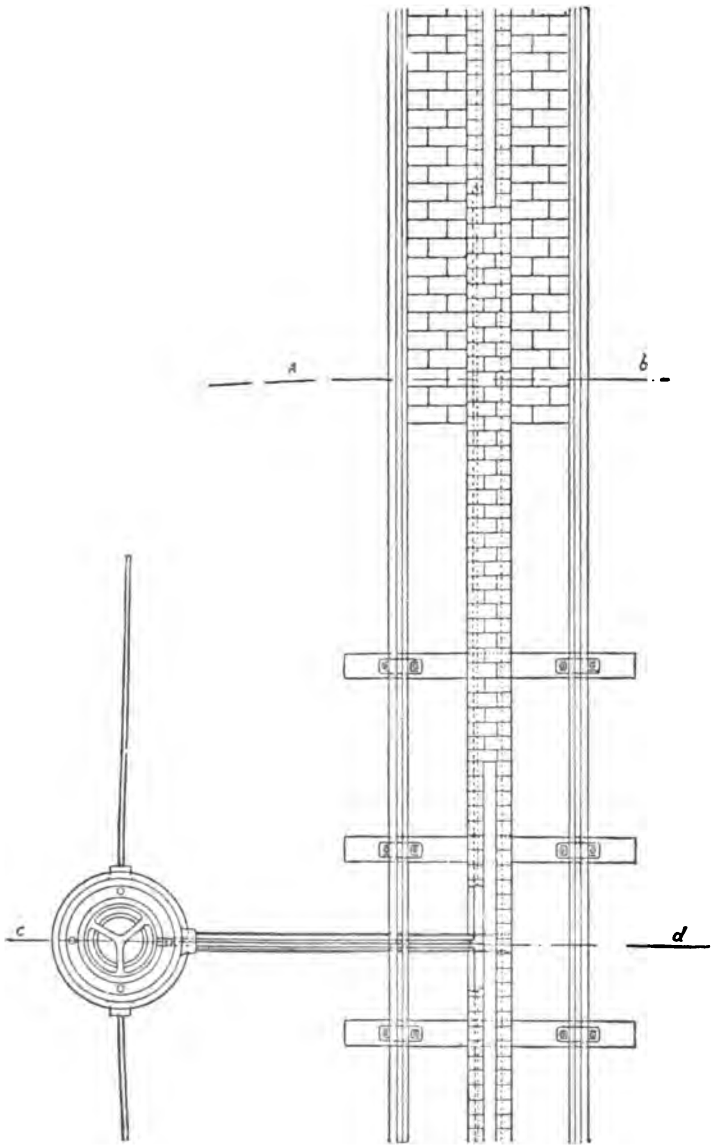


Fig. 323.

strom gespeist wird und seinen magnetischen Schluss durch einen geeigneten, am Untergestell des Wagens befindlichen gleichen Elektro-

magneten erhält. (Fig. 322.) Da die diese beiden Elektromagneten trennenden Kanalabdeckungsplatten unmagnetisch aber stromleitend sind, so gehorcht der im Kanal befindliche Elektromagnet dem Wagenmagnet und wird bei der Fahrt mitgenommen und beim Stillsetzen des Wagens ebenfalls angehalten. Bleiben beide Magnete durch einen Nebenschluss des Betriebsstromes erregt, so kann ein Versagen des Stromschlusswagens nicht erfolgen. Nur wenn durch einen Streckenkurzschluss die Kontaktschiene stromlos wird und der Wagen auf der Steigung oder im Gefälle fährt, wird der Kanalwagen abwärts rollen und ein weiteres Stromgeben für den betreffenden Motorwagen unmöglich machen. Hiergegen hat man eine mechanische Klinkensperrung in Vorschlag gebracht.

Den grössten Anspruch auf Beachtung verdient die Teilleiterstromzuführung mit geschlossenem Leiterkanal von Claret & Vuilleumer,

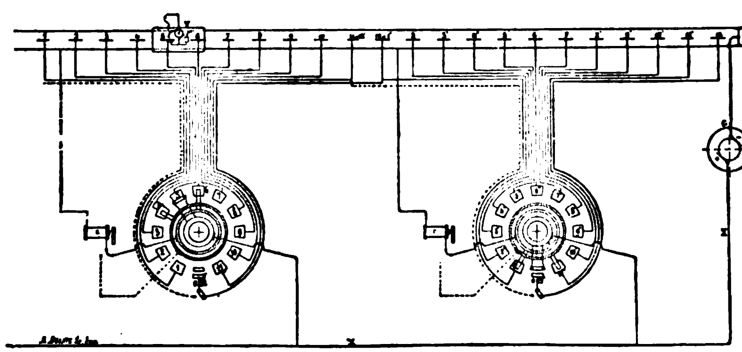


Fig. 324.

welche sich auf einer 3,2 *km* langen Ausstellungsbahn zu Lyon im Jahre 1894 bewährt hat und welche auf der 7 *km* langen Bahn von Paris nach Romainville in Betrieb gekommen ist.

Die in der Mitte des Gleises liegenden unterteilten Kontaktschienen von 4 *m* Länge werden durch ebenfalls 4 *m* lange Zwischenräume in der Längsrichtung voneinander getrennt und durch einen besonderen Umschalter in dem Augenblick ein- und ausgeschaltet, in welchem die Kontaktrollen des Wagens die Teilschiene berühren oder verlassen. Fig. 323 zeigt die allgemeine Anordnung.

Durch die Länge der Teilschienen und der Zwischenräume ist die Wagenlänge gegeben. Es müssen stets zwei Teilschienen und ein Zwischenraum von dem Wagen überdeckt werden. Die zwei Kontakträdchen oder -Schlitten müssen unterm Wagen so angebracht sein, dass ihr Abstand grösser ist als der isolierte Zwischenraum der Teilschienen. Jeder Umschalter bethätigt eine grössere Anzahl

Kontaktschienen und reicht für eine Strecke von ca. 100 *m* aus. In Fig. 324 ist eine schematische Darstellung des Systems gegeben.

Die isolierte Hauptleitung XX ist durch Abzweigungen mit dem Verteiler verbunden. Dieser besteht aus einem umlaufenden Kontaktarm und zwölf im Kreise angeordneten Kontaktstücken, von denen jedes mit einer Kontaktschiene verbunden ist. Entsprechend der Vorwärtsbewegung des Wagens wird nun dasjenige Kontaktstück mit der isolierten Leitung verbunden, dessen Kontaktschiene unter dem Wagen liegt und Strom an diesen abgeben soll.

Die elf ersten Kontakte des Verteilers sind durch Kabel mit den Kontaktschienen 1—11 verbunden. Der zwölfte Kontakt ist doppelt und besteht aus einem Segment, das mit Schiene 12 in Verbindung ist und einem zweiten (vom ersteren nach innen zu liegenden) isolierten Segment.

Schiene 12 des einen Blocks bildet gleichzeitig Schiene 1' des nächsten Blocks, ist also auch mit Kontaktstück 1' des zweiten Verteilers verbunden.

Im Innern des Verteilers befindet sich eine umlaufende Scheibe mit mehreren Kontaktringen, auf denen Kontaktbürsten schleifen. In dieser Weise ist zunächst das Zuleitungskabel X mit dem Ringe verbunden, welcher dem Centrum am nächsten liegt. Der weiter folgende Ring steht durch seine Bürste mit dem Elektromagneten c in Verbindung. Der äussere Ring dient für eine Hilfsvorrichtung.

Der mit der Leitung X verbundene Ring ist mit einem umlaufenden Kontaktarm verbunden, welcher über die zwölf Kontaktstücke läuft und also den Strom aus X zu der jeweilig eingeschalteten Kontaktschiene führt. Die Breite des Armes ist grösser als der Zwischenraum zwischen zwei aufeinander folgenden Kontaktstücken, sodass also die Ausschaltung einer vorhergehenden Schiene erst stattfindet, wenn die nachfolgende bereits mit X verbunden ist. Die Länge des Armes reicht nur so weit, dass derselbe beim Kontakt 12 nur das innere Segment deckt, wie dies bei dem auf Fig. 324 rechts stehenden Verteiler zu erkennen ist.

Der mit dem mittleren Kontaktringe verbundene Arm, der auf dem links stehenden Verteiler auf Kontakt 6 steht, ist gegen ersteren Arm um 30° im Sinne der Uhrzeigerbewegung verstellt; derselbe hat eine Länge, dass er bei Kontakt 12 bis zum äusseren Segment reicht, doch ist seine Breite erheblich kleiner als der Zwischenraum zwischen zwei Kontaktstücken, sodass er keinen Schluss zwischen beiden bewirken kann. Sein Zweck ist, dem Elektromagneten c einen Stromstoss zuzuführen.

Durch diesen Verteiler wird nun bewirkt, dass in dem Augenblicke, in welchem der hintere Schleifkontakt am Wagen die eine

Kontaktschiene verlässt und der erstere auf eine nachfolgende Schiene übertritt, die erstere aus-, die zweite eingeschaltet wird. Der hintere Wagenschleifkontakt f ruht auf Schiene 5, der vordere liegt noch zwischen den Schienen, ist also isoliert. Der Strom geht von X aus über den Verteiler, dessen breiter Kontaktarm auf dem Kontakt 5 ruht, nach dem Schleifkontakt f und weiter zum Motor, durch den er auf die Fahrschienenleitung gelangt. Schiene 6 ist noch isoliert und demgemäss geht auch kein Strom über den schmalen Kontaktarm nach dem Elektromagneten c. Sobald nun aber der vordere Schleifkontakt f', der mit den hinteren in leitender Verbindung ist, auf Schiene 6 tritt, geht von der Schiene 5 aus ein Zweigstrom über f' und Schiene 6 nach dem Kontaktstück 6 und weiter über den schmalen Kontaktarm nach dem Elektromagneten c, von welchem er auf die Fahrschienenleitung übertritt. Der Elektromagnet wird erregt, zieht seinen Anker an und durch diese Bewegung wird die drehbare Platte mit den Kontaktringen und -armen um 30° weiter gedreht, sodass also der breite Kontaktarm auf Kontaktstück 6 gelangt, also dieses und Schiene 6 mit X in Verbindung setzt. Der schmale Kontaktarm ruht jetzt auf Kontaktstück 7 und es ist somit die Stromzuführung nach dem Elektromagneten c einstweilen aufgehoben, bis der vorwärts fahrende Wagen den vorderen Schleifkontakt auf Schiene 7 gebracht hat, worauf sich das geschilderte Spiel wiederholt.

Die drehbare Scheibe mit den drei Kontaktringen sitzt auf einer Achse, welche durch eine Feder durch Gewichtsantrieb oder durch einen kleinen Motor gedreht werden kann. In dieser Bewegung wird sie durch eine Sperrklinke, welche in ein zwölfzähniges, an der Achse befestigtes Zahnrad eingreift, gehindert. Sobald nun der Elektromagnet c erregt wird, hebt er durch die Anziehung seines Ankers die Sperrklinke aus und die Achse dreht sich. Da aber die Sperrklinke früher losgelassen wird, bevor die Achse $^1/_{12}$ Umdrehung zurückgelegt hat, so fängt die Klinke das Sperrrad am nächsten Zahn. Demgemäss wird also jede Erregung von c die Vorwärtsbewegung des breiten Kontaktarmes von einem Kontaktstück zum nächsten zur Folge haben und infolgedessen auch das ganze mit der Achse verbundene System sich um diesen Winkelbetrag bewegen.

Die geschilderte Folgeschaltung wird sich nun bei jeder Weiterbewegung des Wagens wiederholen, bis Kontaktschiene 11 erreicht worden ist. Sobald aber nun in diesem Falle Schiene 11 vom Wagen überfahren ist und der vordere Schleifkontakt f' die Kontaktschiene 12, welche mit 1' (d. h. Nr. 1 der folgenden Gruppe) identisch ist, erreicht hat, geht von f' aus ein Strom sowohl über den Elektromagneten des links-, wie über denjenigen des rechtsstehenden Ver-

teilers, dessen breiter Arm bisher auf 12 stand. In diesem Augenblicke arbeiten also beide Verteiler gleichzeitig. Im linksstehenden Verteiler rückt der breite Arm auf Nr. 12 und wird also isoliert; im rechtsstehenden Apparate dagegen wird der breite Arm auf 1 gestellt und dadurch gelangt also Schiene 12—1′ durch den rechtsstehenden Verteiler mit X in Verbindung. Es übernimmt demnach nunmehr der rechtsstehende Verteiler die Einschaltung der weiteren Schienen, bis die ihm zugehörige Gruppe überfahren ist und dann in der geschilderten Weise der nachfolgende Verteiler in Thätigkeit kommt.

In dieser hier geschilderten, einfacheren Form lässt der Verteiler nur eine Fahrrichtung zu, nach unserem Schema (Fig. 324) von links nach rechts. Damit man nun in beiden Richtungen fahren kann, was nicht nur auf eingleisigen Strecken erforderlich, sondern auch für gelegentliche, aber sichere Fälle bei zweigleisigen Strecken notwendig ist, haben die Erfinder ihren Verteiler für zweiläufige Bewegungen eingerichtet. Zu diesem Zwecke ist der dritte, der äussere Kontaktring angebracht, mit welchem, ähnlich wie beim inneren Ringe, ein schmaler Kontaktarm verbunden ist; dieser letztere ist jedoch nach rückwärts (im Sinne der Uhrzeigerbewegung) um 30° gegen den breiten Kontaktarm verschoben. Ebenso ist ein zweites Sperrrad für linksgängige Bewegung mit einer zweiten Sperrklinke und einem zweiten Elektromagneten eingerichtet.

Ist nun wie in Fig. 324 Schiene 5 mit X verbunden und kommt bei der Weiterbewegung nach rechts hin f′ mit 6 in Berührung, so wird, wie leicht zu sehen, der Teilstrom über den auf Kontaktstück 6 ruhenden Arm geleitet; es wird also der rechtsum treibende Elektromagnet bethätigt. Fährt aber der Wagen in der entgegengesetzten Richtung, so übernimmt f′ die Stromzuführung zum Motor und f diejenige zum treibenden Elektromagneten. Dieser letztere wird aber der zweite, der linksum treibende sein. Denn kommt f jetzt auf die Kontaktschiene 4, so geht ein Teilstrom über den mit dem äusseren Ringe verbundenen schmalen Arm, der, wie gesagt, mit dem zweiten Elektromagneten verbunden ist.

Für die Kontaktschienen ist in der Mitte des Gleises ein schmaler Weg aus Holzpflaster hergestellt, welches auf eine isolierende Asphaltschicht gesetzt ist. (Fig. 323, 325 und 326.) Der auf diese Weise entstandene Körper hat an beiden Seiten Nuten erhalten, in denen die vom Verteiler zu den einzelnen Schienen führenden Zuleitungen liegen.

In den Körper sind die Kontaktschienen eingelassen, die aus verkehrt eingesetzten Abschnitten von Vignolschienen bestehen. Die von oben eingeschnittene Nute für diese Schienen wird nach dem

Einsetzen des Schienenstückes mit Asphalt vergossen und man erhält dadurch zwar keine grosse, aber für 500 Volt Betriebsspannung und auch bei schlechtem Wetter genügende Isolation.

Die Verteiler sind, wie die Abbildungen erkennen lassen, seitwärts des Schienenweges gestellt und in den Boden eingelassen, können jedoch auch auf besonderen Ständern wie Feuermelder oder an Häusern wie Briefkästen in erreichbarer Höhe angebracht sein, wodurch die Verteiler durch Schnee, Eis und Feuchtigkeit nicht leiden können.

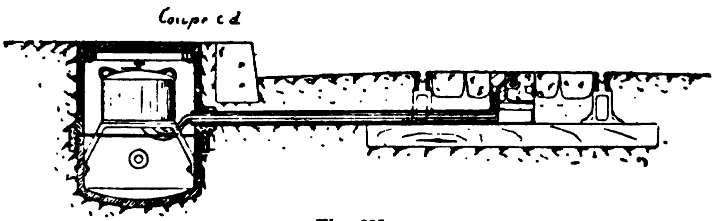


Fig. 325.

Ein Hindernis zur Einführung dieses Systems liegt weniger in den Kosten der Kabelleitungen und Apparate, sondern in der guten Isolierung und soliden Befestigung der Teilleiter-Stromzuführungsschienen. Gerade dieser Umstand ist das Haupthindernis, dass die so begehrenswerten Teilleiterkonstruktionen noch nicht festen Fuss in der Praxis fassen konnten.

Es wird natürlich nicht möglich sein, durch dieses System das denkbar einfachste und billigste System der oberirdischen Hochleitung zu verdrängen, wenigstens nicht an den Stellen, die ohne weiteres

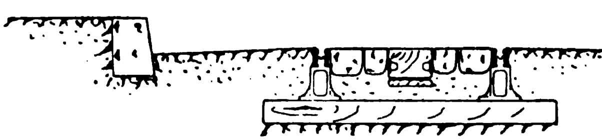


Fig. 326.

für Hochleitung geeignet sind; aber da es sich heutzutage oft darum handelt, den Vorortverkehr in das Innere der Grossstadt überzuleiten und hierbei ein kombiniertes System anzuwenden zum mindesten gewünscht wird, so ist besagtes System ebenso berufen, sein Anrecht auf zweckentsprechende Verwendung geltend zu machen, wie Akkumulatorenbetrieb und Schlitzkanalbetrieb.

Für das sichere Funktionieren der Streckenschaltapparate ist der Fall zu berücksichtigen, dass der Wagen seinen Betriebsstrom ausschaltet und vermöge seiner lebendigen Kraft über die nächstfolgenden Teilschienen hinwegfährt. Es ist alsdann der Apparat still gesetzt

und kann derselbe nicht mehr anspringen, wenn der Wagenführer einschaltet. Es ist zu vermuten, dass bei besagter Probebahn in Lyon für diese Fälle ein Nebenschluss zum Motor vorgesehen war, oder dass mit geringem Betriebsstrom bis zum Stillstand des Wagens gearbeitet wurde. Bei Anwendung von Nebenschlussmotoren im Wagen ist die eben begründete Forderung von selbst erfüllt.

Eine Vereinfachung des Schaltapparates liegt im Fortfall der mechanischen Kraftaufspeicherung durch Feder oder Gewichte. Bildet man ein feststehendes, kranzförmig und radial angeordnetes Magnetsystem, dessen einzelne Magnete nur immer durch die entsprechende Teilleiterschiene erregt werden, und lässt man in diesem Magnetsystem einen ebenfalls radial angeordneten Magneten, der ständig von dem Betriebsstrom erregt ist, als Radius um den Mittelpunkt kreisen, so ist derselbe Zweck durch einen gewissermassen einfachen Drehstrommotor erreicht, und die besondere regelmässige Wartung des Apparates fällt damit fort.

Der Einbau der Mittelschiene in die verschiedensten in Betracht kommenden Pflasterarten, wie Asphalt, Granit, Chaussee u. s. f., wird stets andere Konstruktionen bedingen. Die solideste Anordnung wird die vollständige Einbettung in Asphalt sein, da alle anderen Pflastermaterialien wenig isolierende sind. Wenngleich auch der Übergangsstrom zwischen Mittelschiene und Laufschiene bei guter Isolierung und wasserfreier Strassenfläche nur unbedeutend sein kann, so müssen doch alle zu Gebote stehenden Mittel vollkommenste Anwendung finden.

Über die eingehende Konstruktion des Schaltapparates und Wagenkontaktes giebt »The Electrical Engineer« vom 17. Oktober 1894, S. 313, und »The Electrician« vom 28. September 1894, S. 630 und 631 näheren Aufschluss.

Das von der General Electric Company entworfene, und von der Thomson-Houston-Gesellschaft in Paris sowie von der Union El.-Ges. Berlin verbesserte und in Monaco und Monte Carlo ausgeführte System ist des Näheren beschrieben von Kubierschky in der E T Z 1899, H. 17, S. 295 und in der Illustrierten Zeitschrift für Klein- und Strassenbahnen 1899, H. 3, S. 116.

Die Bahn in Monaco von 4,5 *km* Länge hat Meterspur und wird von zweiachsigen Motorwagen, deren Radstand 2 *m* ist, befahren. Die Kontaktknöpfe sind innerhalb der Schienen etwa 25 *cm* von der Innenkante in zwei Reihen angeordnet und diesen entsprechend hat der Wagen zwei Kontaktschienen. Die Knöpfe stehen 15 *mm* über Strassenoberfläche vor und sind so abgerundet, dass sie dem übrigen Verkehr kein Hindernis bieten. Die Entfernung gleichpoliger Kontaktknöpfe ist 5 *m* und jene ungleichpoliger in der Längsrichtung

gemessen 2,5 *m*. Die Schalter sind in Gruppen zu 22 in besonderen gusseisernen, wasserdichten Kästen an geeigneten Orten unter die Strassenfläche gelegt. Für leichte Zugänglichkeit ist durch einen der Strassenoberfläche angepassten äusseren und einen zweiten inneren Deckel gesorgt. Diese Kästen sind 260 *cm* lang, 200 *cm* tief und 110 *cm* breit. Die Erregerspule jedes Elektromagneten ist zwischen Laufschiene und einen Kontaktknopf der Niederspannungsreihe geschaltet. Die Kontaktschiene unter dem Wagen ist mit dem einen Pol der kleinen Batterie verbunden, während der andere Pol dieser Batterie an die Erde gelegt ist. Wenn nun die Kontaktschiene einen Niederspannungsknopf berührt, so fliesst ein Strom durch den entsprechenden Elektromagneten und letzterer zieht seinen Anker an. Mit dem Anker ist ein Schalter verbunden, durch dessen Schluss Hochspannungsstrom in die zwei Hochspannungsknöpfe gegeben wird, die vor und hinter dem Niederspannungsknopf liegen. Sowie die Niederspannungsschiene einen Knopf verlässt, wird auch der in 2,50 *m* hinter ihm liegende Hochspannungsknopf stromlos. Da die Gesamtlänge des Wagens 8,40 *m* ist, so kann eine zufällige Berührung von Knöpfen, die Spannung haben, nicht eintreten. Die Wagen haben Räder von 84 *cm* Durchmesser und elektromagnetische Bremsen.

Über das neue Thompson & Walker'-System hielt Prof. Thompson vor der British Association einen Vortrag, (vergl. ETZ 1898, H. 47, S. 790), in welchem die wesentlichen Teile näher erläutert wurden. Hier ist ebenfalls eine am Wagen befestigte Kontaktschiene vorhanden, welche auf stromgebenden Knöpfen schleift. In den letzteren wird die Bewegung der Schalter durch Öldruck bewirkt, wodurch zugleich eine gute Isolation des Schalterkastens erreicht wird. In Willesden bei London ist nach dem Thompson-Walker-System eine Versuchsstrecke erbaut worden.

Einige weitere, durch die Litteratur bekannt gewordene Konstruktionen mögen zum Schluss hier noch Platz finden.

Das Johnson-Lundell-System ist beschrieben in »Die Elektrizität« 1896, Heft 17, S. 98 und 99, und beruht darauf, dass eine im Wagen befindliche kleine Akkumulatorenbatterie Strom für Erregung von im Strassenpflaster liegenden Einschalter-Elektromagneten hergiebt. Die Enden dieser Magnetbewickelung sind zu zwei parallel geführten, zwischen den Gleisen liegenden Teilleiterschienen geführt und erhalten durch Doppelbürsten ihren Erregerstrom, der sowohl Akkumulatoren- als auch direkter Betriebsstrom sein kann. Die Akkumulatoren werden stets parallel zum Motor geschaltet, während der Fahrt geladen und bilden Reserve für Versagen der Apparate im Pflaster. D. R. P. 82406 zeigt einen Umschalterkasten einfacher Bedienungsart.

System Diatto, beschrieben in der ETZ 1895, Heft 43, S. 680, und 1899, Heft 23, S. 395 sieht im Pflaster zwischen den Gleisen einzelne eiserne Kontaktknöpfe vor, die durch einen darübergeführten Wagenmagneten Magnetismus übergeleitet erhalten. Dadurch wird ein im Quecksilber schwimmender Eisenstöpsel kontaktbildend nach oben gezogen und giebt dem Kontaktknopf Strom.

Die Verwendung von Quecksilber im Strassenpflaster und die Annahme, dass Holz im Strassenpflaster isolierend wirkt, sind als Fehlgriffe zu bezeichnen. Das System ist auf einer 200 *m* langen Probestrecke in Thätigkeit gewesen und in Tours befindet sich eine Betriebsstrecke im Bau.

System Cirla, beschrieben in der ETZ 1897, Heft 2, S. 22 und 23, ist charakterisiert durch einen längs des Wagens hängenden zweipoligen Hufeisenmagneten, der über den mit den freien Polen nach oben gekehrten und im Pflaster liegenden Hufeisen schwebt. Das Joch dieses Hufeisens ist in der Mitte unterbrochen und zieht an dieser Stelle eine kontaktbildende eiserne Scheibe innerhalb eines

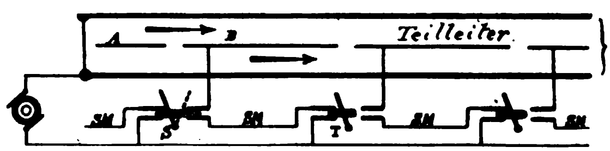


Fig. 327.

dicht verschlossenen Kontaktapparates an. Ob dieses System in Betrieb gekommen, ist nicht angegeben.

Das Westinghouse-System, ETZ 1895, Heft 46, S. 725, die Essberger'sche Konstruktion, D. R. P. 80 670, sowie die Benak'sche (von Schuckert & Co. in München probeweise ausgeführt), näher beschrieben von Dr. Gustav Rasch in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1897, Heft 6, S. 164 und 165, gründen sich auf die Bethätigung von Elektromagneten im Strassenpflaster, welche von dem stromführenden Wagen mehr oder weniger stark erregt werden.

Ein neueres System der Firma El.-A.-Ges. vorm. Schuckert & Co. ist durch D. R. P. 101 388 (ETZ 1899, Heft 31, S. 558) klargelegt worden. Diesbezügliche Versuchsstrecken sind auf dem Fabrikhofe der Firma in Betrieb.

Ein rein mechanisches Teilleitersystem wird durch Fig. 327 (D. R. P. 101 512) dargestellt. Hier wird durch das Anschliessen eines Teilleiters B beim Umlegen des zugehörigen Schalters gleichzeitig der verlassene Teilleiter A abgeschaltet. Dieses Abschalten wird durch die Hilfsleitungen SM bewirkt, welche die Schalterkon-

takte zweier benachbarter Schalter S und T verbinden, und zwar ohne den vorhergehenden Schalter in Thätigkeit zu setzen. Dieses System setzt aber voraus, dass die Wagen oder Züge nicht hintereinander folgen, sondern dass die Strecke abwechselnd hin und zurück befahren wird, weil sonst sämtliche Hebel in der punktierten Lage stehen bleiben würden. Für Bahnen mit eigenem Bahnkörper hat dieses System sicherlich die meiste Aussicht angewendet zu werden, da es das betriebsicherste und billigste sein dürfte. Bei zweigleisiger Strecke mit stets gleicher Fahrtrichtung könnte z. B. der Streckenwärter nach Befahrung der Blockstrecke, wenn er dieselbe freigeben will, die sämtlichen Schalthebel durch einen Drahtzug rückwärts stellen. (Vgl. auch El. Review v. 18. März 1898 u. Deutsche Zeitschrift für Elektrotechnik 1898, Heft 7, S. 62.)

Eine Teilleitereinschaltung durch Radtaster zeigt das D. R. P. 95938 (ETZ 1898, Heft 30, S. 509) und D. R. P. 84807.

10. Die Akkumulatorenbahnen.

Die transportablen Akkumulatoren für motorische Zwecke sind, solange es elektrische Bahnen giebt, noch nicht von der Reihe der brennenden Tagesfragen gewichen.

Ehe man unsere heutigen Akkumulatoren kannte, versuchte man Fahrzeuge mit Primär-Elementen anzutreiben. Da derartige Versuche bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts unternommen wurden, kann man sich die früheren Misserfolge vorstellen.

Als im Jahre 1881 Emil Alfons Faure seine Patente auf Akkumulatoren nahm, glaubte man, dass das Verfahren der aufgesammelten elektrischen Energie dazu berufen sein werde, den Strassenbahnbetrieb zu beherrschen. Damals aber erwiesen sich diese Erwartungen als verfrüht.

In Erkenntnis der Wichtigkeit des Akkumulatorbetriebes für Strassenbahnen haben bereits im Jahre 1884 Julien in Brüssel und A. Reckenzaun in London Strassenbahnwagen mit Akkumulatoren in Betrieb gesetzt. Beide waren die Pioniere auf diesem Gebiete, doch war es ihnen nicht vergönnt, die Früchte ihrer Bestrebungen noch zu erleben. Im Jahre 1885 setzte Reckenzaun in Berlin einen Wagen in Betrieb, und 1887 machte J. L. Huber in Hamburg gleichfalls Versuche, um Erfahrungen in diesem eigenartigen Betriebe zu sammeln. Alle diese Versuche zeigten, dass es möglich ist, den Akkumulatorenbetrieb für die Beförderung von Strassenbahnwagen vorzusehen, und dass es möglich sein würde, dieses Traktions-System praktisch brauchbar zu machen. Die elektrischen Motoren, die Fahrschalter, die Übertragung der Kraft des Motors auf die Wagenachsen

und die Akkumulatoren selbst waren jedoch zu jener Zeit noch derartig unvollkommen, dass an einen ganzen Erfolg nur dann zu denken war, wenn bei dauerndem, unausgesetztem Betriebe die nötigen Erfahrungen gesammelt werden konnten.

Die ersten Akkumulatorenbahnen waren in Betrieb in Scheveningen, Birmingham., Brüssel, Paris, Berlin (Plewe), Hamburg (Huber 1887) Haag.

Die von Bleiplatten alter Konstruktion gebildeten Akkumulatoren hatten sich nur annähernd gut auf solchen Strecken bewährt, welche keine zu starken Steigungen aufwiesen, und bei denen die Anforderungen an Geschwindigkeit keine hohen waren.

Die grossen Erschütterungen, denen der Wagen selbst auf den Schienen ausgesetzt ist, im Verein mit den grossen Stromstössen, veranlassten, dass die sogenannte aktive Masse, mit welcher die Platten bestrichen wurden, abbröckelte. Ausserdem gestattete die Plattenkonstruktion nicht, mit spezifisch hohen Stromstärken zu laden und zu entladen, wie dies heutzutage geschieht, wodurch der Betrieb schwerfällig war und Nachtladungen erforderlich machte.

Die erhofften Vorzüge des reinen Akkumulatorenbetriebes, als da sind: Wagen ohne irgend welche Zuleitung, Unabhängigkeit der Wagen von einander und von der Station, gleichmässige Ausnutzung der stationären Kessel, Dampfmaschinen und Dynamos beim Laden der Zellen, Wiedergewinnung der Arbeit beim bergabfahrenden Wagen in Form von elektrischer Energie, die der Wagenmotor, als Stromerzeuger wirkend, hergiebt und die alsdann zum Wiederladen der Zellen benutzt wird, Anwendung geringerer Spannungen u. dergl., wurden durch die Beschaffenheit der ersten Bleiakkumulatoren sehr fragwürdiger Natur. Die notwendige Anwendung einer Flüssigkeit, welche umherspritzen und Beschädigungen an Motoren, Wagen und Insassen herbeiführen kann, ist auch heute noch nicht als Annehmlichkeit des Akkumulators zu bezeichnen.

Gegen das Umherspritzen des Elektrolytes hatte man eine gelatineartige Säure angewandt, ist aber hiervon wieder abgegangen, weil sich andere Unbequemlichkeiten herausgebildet haben.

Die in der Akkumulatoren-Entwickelungszeit erfolgten Fehlschläge liessen die Benutzung des Akkumulators für Bahnzwecke als ein verunglücktes Experiment erscheinen. Die Schwächen lagen meist innerlich ; so war das Biegen der Platten, der Kurzschluss, die Sulfatbildung, das Verwittern und Ausbröckeln des Superoxyds Grund dazu, durch Verstärkung der Platten dem Biegen entgegenzuarbeiten, durch Umhüllen das Ausfallen des Superoxyds zu hindern u. s. w. Durch solche mechanische Kunstgriffe arbeitete man aber dem chemischen Vorgange entgggen und konnte kein befriedigendes Resultat

erhalten. Die Hauptveranlassung zu diesen Störungen sind die zu schnellen Entladungen und die zu grosse Stromstärke.

Das Superoxyd ist nicht minder wichtig als die Säure. Wird deren Dichtigkeit zu gering, so nimmt die EMK schnell ab. Während der Entladung muss die dünnere Säure aus den Poren der Platten heraus und dichtere hinein; das kann durch die Differenz der spezifischen Gewichte und durch die Erschütterungen geschehen. Je schneller die Entladung, eine desto dünnere Schicht der Platte nimmt an der Arbeit teil. Durch Vergrösserung der Porosität kann man freilich etwas helfen, aber man thut es auf Kosten der EMK. Für schnelle Entladung sind also die besten Platten dünn, mit grosser Oberfläche und freiem Säurezutritt auszustatten. Die Kapazität für das Kilogramm der dünnen Platten ist grösser als die der besten dicken, porösen Platten. Auch bei schneller Ladung ist die dicke Platte hinderlich für die Rückwärtsbildung der Säure. Es bleibt zu dichte Säure in den Poren haften, Gasbildung tritt ein und dadurch Zerstörung der Platte. Auch die bei der Entladung eintretende Ausdehnung des Superoxyds und seine nachherige Kontraktion gestattet die dünne Platte mit grosser Oberfläche in möglichst vollkommener Weise. Das allmähliche Abfallen des Superoxyds und die damit fortschreitende Zerstörung der Platte hindert die grosse, dünne Platte nicht, aber dafür ist sie auch billiger und kann leichter ersetzt werden.

Zieht man aus den vorstehenden Betrachtungen das Resultat für die Verwendung des Akkumulators zu Strassenbahnzwecken und beachtet man, dass der Transport der gewichtslosen elektrischen Energie durch Kupferleitungen so vielmal leichter zu bewirken ist als durch schwere Batterien, so neigt man zu der Ansicht hin, dass ein Transport der Energie durch Metallplatten niemals ernstlich in Frage kommen kann, dass vielmehr dem Akkumulatorenbetrieb nur ein ganz spezielles Gebiet zugewiesen werden kann, wo sich z. B. durch einen äusserst spärlichen Betrieb die Anbringung oberirdischer, oder der Einbau unterirdischer direkter Zuleitungen nicht rentieren kann.

Dieses Bild änderte sich jedoch im Jahre 1895, als sich die Akkumulatorentechniker erfolgreich bemühten, Batterien für schnelle Aufladung und für hohe Entladestromstärken zu bauen. Hier war es die Hannoversche Strassenbahn, welche energisch vorging, um sich ein System zu schaffen, das ihrem Unternehmen eine wirtschaftliche Seite abgewinnen konnte. Das zuerst in Hannover (10. September 1895) eingeführte System ist unter der Bezeichnung »gemischter Betrieb« tonangebend geworden. Von der Akkumulatoren-Fabrik, Aktiengesellschaft, Hagen i/W.-Berlin, wurden in die

von der oberirdischen Fahrleitung betriebenen Strassenbahnwagen Akkumulatorenbatterien von je 2—2,6 *t* Gewicht eingebaut mit der Bestimmung, bei der Fahrt auf den Aussenstrecken von der direkten Stromleitung geladen zu werden, um in der inneren Stadt, die von Fahrleitungen verschont bleiben sollte, den Motor weiter treiben zu können. Die Dresdener Strassenbahn folgte im Jahre 1896 diesem Beispiel auf einer, durch die Wünsche der Stadtverwaltung hierfür besonders bestimmten Linie, wobei die Batterien nur noch ein Gewicht von rund 2 *t* besassen.

Im Jahre 1899 folgten einige Linien in Halle (Hallesche Strassenbahn) dem Beispiel, weil auch hier wieder besondere Gründe (Nähe des Universitätslaboratoriums!) für die stellenweise Weglassung der Oberleitung bestimmend wurden.

Der im Jahre 1898 in Berlin eingerichtete Betrieb gleicher Art kann wohl als der grösste gelten.

Batterien von höherem Gewicht als 2500 *kg* sind nicht mehr zeitgemäss. Geringere Gewichte werden vereinzelt wohl angestrebt und ausgeführt, haben jedoch bis jetzt noch keine längere Bewährung zu verzeichnen. Es ist möglich geworden, bei diesem Normalbatteriegewicht von 2 *t* eine Kapazität von 25 Amperestunden bei 500 Volt Betriebsspannung der Batterie zu erreichen, bei einer die Batterie auf die Dauer nicht gefährdenden Anfahrstromstärke von 100 Amp. Diese Arbeitsanhäufung entspricht einer Wagenleistung von ca. 240 Tonnenkilometern bezw. von 20 Wagenkilometern, wenn der Wagen 12 *t* wiegt.

Es kommt nun beim gemischten Betriebe weniger auf die Kapazität, als auf die grösstmögliche Entladestromstärke, bei der durch das Gesamtbatteriegewicht auszudrückenden Bleiplatten-Oberfläche an. Eine grössere Strombelastung als 2 Amp. für das Quadratdecimeter positiver Platten-Oberfläche ist nicht üblich und dürfte auch nur ausnahmsweise zulässig sein.

Die Leistung einer Kilowattstunde erreicht man durchschnittlich mit ca. 100—150 *kg* Gesamtbatteriegewicht bei 2—3 stündiger Entladung. Der Preis einer solchen Kilowattstunden-Kapazität beträgt 200—250 ℳ.

Man unterscheidet bei Akkumulatorenbahnen:

a) reinen Akkumulatorenbetrieb mit Tagesleistung;
b) reinen Akkumulatorenbetrieb mit Schnellaufladung an den Strecken-Endpunkten. (Nachladebetrieb);
c) gemischten Akkumulatorenbetrieb;
d) Akkumulatoren-Lokomotiven und Tender.

Bei allen Betriebsarten handelt es sich darum, die Batterien im Gefährt zweckmässig unterzubringen. Dies kann im Wagenkasten

selbst erfolgen, indem die Zellen unter den Sitzbänken Platz finden. In diesem Falle, dem bei uns häufigsten, wird das Eindringen von Säuredämpfen in das Wageninnere dadurch verhindert, dass nach allen Seiten besonders gute Abdichtungen durch Asphaltanstrich und Gummieinlagen, sowie durch gummibelegte Deckel vorgesehen werden und dass der ganze Raum unter den Sitzen mit gut wirkender Ventilation versehen wird.

Diese Ventilation soll so eingerichtet sein, dass an keiner Stelle des Lüftungsraumes eine Luftpressung entsteht, sondern stets ein Vakuum herrscht. Erfolgt die Ladung in der Wagenhalle, so thut man gut, während der Ladezeit die Luft besonders abzusaugen; erfolgt die Ladung während der Fahrt, wie beim gemischten Betriebe, wo die Gasentwickelung nicht immer vermieden werden kann, so sind Ventilationseinrichtungen bezw. Saugevorrichtungen vorzusehen, welche für jede Fahrtrichtung einen Unterdruck (Vakuum) im

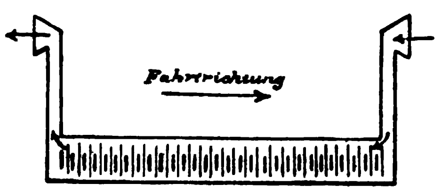


Fig. 328.

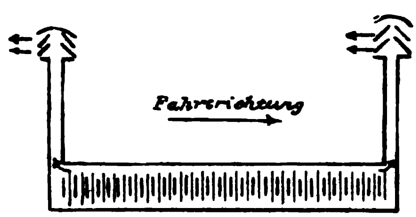


Fig. 329.

Akkumulatorenraum herstellen. Ulbricht berichtet (ETZ 1899, Heft 39, S. 687) über diesbezügliche Untersuchungen, dass bei der Einführung des gemischten Betriebes in Dresden (Dezember 1895) mit grosser Sorgfalt auf guten Abschluss der unter den Bänken befindlichen Batteriekästen geachtet wurde, auch das Personal bald dahin gebracht worden sei, dass eine Überladung der Zellen thunlichst vermieden wurde. Infolgedessen trat der Säuregeruch für gewöhnlich nicht in lästiger Weise auf. Um demselben noch weiter zu begegnen, war eine Ventilation der Batteriekästen nach Fig. 328 derart angebracht, dass die Luft vorn hineingedrückt, hinten abgesogen wurde, dass also Durchzug entstand.

Bei ungünstigen Ladungs- und Stromabgabeverhältnissen blieb diese Ventilation mit Durchzug einer stärkeren Gasentwickelung gegenüber wirkungslos und auch der sorgfältigste Abschluss vermochte auf die Dauer die Säuregeruchbildung im Wagenraume nicht zu verhindern.

Die Firma Schippel in Kappel bei Chemnitz konnte derartige Aufsätze zur Verfügung stellen, die, nach Fig. 329 angebracht, vollkommen den Absichten entsprechend wirkten.

Bei den im Februar 1899 angestellten Probefahrten wurde in den Zellenraum ein Gefäss für starke Schwefelwasserstoffentwickelung gestellt, der Batteriekastendeckel nur unvollkommen geschlossen und dann im Wagenraume der Erfolg beobachtet.

Bei längerem Stehen des Wagens wurde der Schwefelwasserstoffgeruch deutlich bemerkbar, verschwand aber sehr bald, wenn bei geschlossenen Thüren die Fahrt begann. Während der Fahrt konnte auch durch weiteres Lüften des Batteriekastendeckels der Geruch nicht auffällig gemacht werden. An den vorderen und hinteren Ventilationsaufsätzen war dagegen starker Geruch zu bemerken.

Die Wirksamkeit der Einrichtung wurde nur geschwächt, wenn die hintere Wagenthür geöffnet wurde, während die vordere geschlossen blieb. Dann stellte sich eine Saugwirkung für das Wageninnere her, die dort einen schädlichen Unterdruck erzeugte.

Die Anordnung, die inzwischen von der Deutschen Strassenbahn durchgeführt worden ist, hat sich dauernd bewährt und befindet sich auch in weiterer Einführung.

Um die Batterien dem Wagen kasten unterhalb anhängen zu können, müssen die Motoren so untergebracht werden, dass sie den Batteriekästen Raum gewähren. Am einfachsten lässt sich diese Anordnung bei vierachsigen Drehgestellwagen bewirken. Auch kann die Batterie im Untergestell befestigt sein, wie dies in Fig. 330 dar-

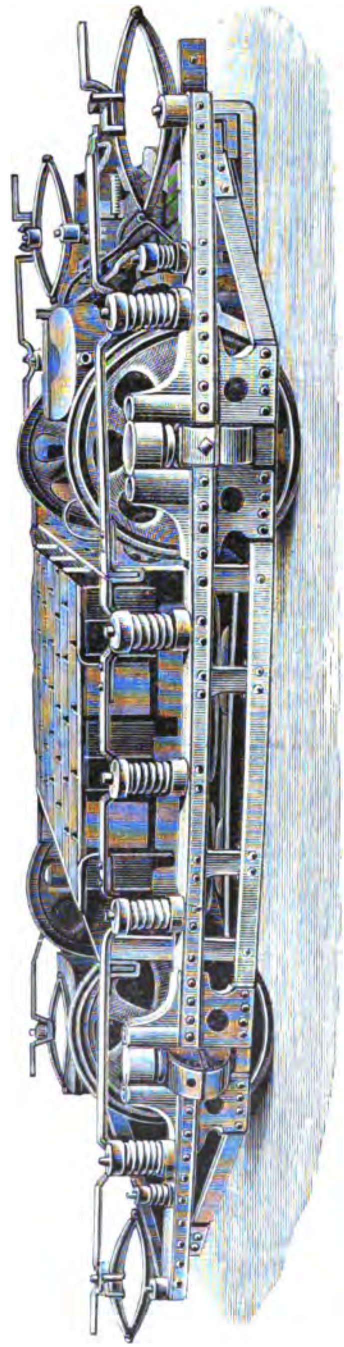


Fig. 330.

gestellt ist, falls man es je nach Umständen nicht vorzieht, die Akkumulatoren in einem besonderen **Tenderwagen** unterzubringen, der dem Hauptwagen angehängt oder vorgespannt wird.

Die in Fig. 330 dargestellte Unterbringung der 4 t Batterie hat bei einer Akkumulatorenbahn in **Chicago** Anwendung gefunden. (Vergl. ETZ 1898, Heft 11, S. 163.)

In allen Fällen muss beim Bau der Wagen, Untergestelle, Räder und Achsen auf das vermehrte Gewicht Rücksicht genommen werden. Auch das Gleis verlangt mitunter bei der 20—25 % grösseren Belastung entsprechende Verstärkungen im Schienenquerschnitt, in der Laschenverbindung und im Stopfmaterial.

Da erfahrungsgemäss beim Anfahren des Wagens eine etwa vierfache Stromstärke erforderlich ist, gegenüber der Fahrt auf horizontaler Strecke, so liegt es nahe, um die zulässige Beanspruchung der Platten nicht zu hoch wählen zu müssen, die Zellen für die Anfahrt und für die Fahrt auf Steigungen entsprechend parallel und für die freie Fahrt in der Ebene hintereinander zu schalten, wobei man allerdings mit ungünstiger Spannung im Motor arbeitet, der den Umschaltungsvorteil wieder zum Teil aufhebt.

Zur Unterhaltung der Akkumulatoren gehört das rechtzeitige Überladen der Batterie, was durchschnittlich im Monat einmal zu erfolgen hat. Es muss alsdann die Batterie während 2—3 Stunden so viel Spannung erhalten, bis sämtliche Elemente die höchste Spannung von 2,7 Volt erreicht haben. Dadurch wird ermöglicht, dass diejenigen Zellen, welche durch den Betrieb Veränderungen ihres Widerstandes erlitten haben, ihren normalen Zustand wiedererlangen.

Auch das Reinigen der Zellen (**entschlammen**) muss in 2—3 monatlichen Zwischenräumen erfolgen.

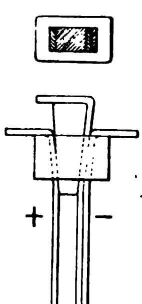


Fig. 331.

Bei der Konstruktion von Batterien für den Betrieb elektrischer Wagen, Lokomotiven, Automobilen und dergl. ist auf geringes Gewicht, festen Einbau der Platten, Widerstandsfähigkeit gegen Stösse und Erschütterungen, leichte Zugänglichkeit nebst säuredichten Abschluss Rücksicht zu nehmen.

Die einzelnen Zellen werden in säurefest gestrichene Holzkasten eingesetzt und darin durch Holzkeile festgehalten. Zur Verbindung der Zellen untereinander dienen Bleistreifen, die wie üblich verlötet werden. **Keilverbindungen**, wie dieselbe Fig. 331 zeigt, sind ebenfalls üblich und haben sich bewährt. Auch **Bleischraubenverbindungen** sind angewandt worden, um die Zellen leicht auswechseln zu können. Die Holzkasten sind ent-

weder auf gut isolierten Gleitschienen herausziehbar angeordnet, wie Fig. 332 zeigt, und können alsdann bei etwaigen an den Wagen vorkommenden Reparaturen leicht herausgezogen werden, oder werden, wie dies zumeist geschieht, direkt in dem Raum unter den Sitzbänken untergebracht.

Je nach dem angewandten Betriebs-System muss man für den Schutz des Akkumulatorenraumes gegen Einwirkung der Säure sorgen, was durch Auskleidung mittels Gummi, bezw. Isolazit oder auch durch einfachen säurefesten Anstrich geschieht. In den meisten Fällen, namentlich bei reinem Akkumulatorenbetrieb, oder bei Nachladebetrieb genügt der säurefeste Anstrich, dagegen nimmt man für gemischten Betrieb eine vollständige Auskleidung mit Gummi oder einem anderen, hierzu geeigneten säurebeständigen, feuerfesten und isolierenden Material vor.

Ein Material, welches bei leichter Verarbeitung und Dauerhaftigkeit es ermöglicht, Holz- und Metallteile, die mit Starkstrom in un-

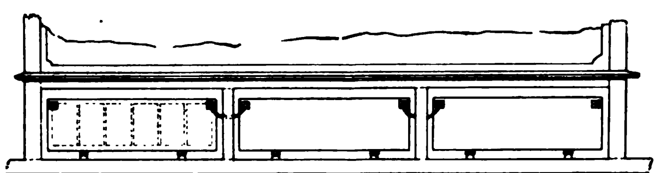


Fig. 332.

mittelbare Berührung kommen, oder die Säuren, Säuredämpfen, Alkaliflüssigkeiten u. s. w. ausgesetzt sind, so zu präparieren, dass diese Teile als Nichtleiter gelten können, ist das Isolacit.

Während andere Isolationsmittel den Übelstand haben, teils aufzuweichen, teils rissig zu werden und abzuspringen, bietet das Isolacit die Vorteile langer Dauerhaftigkeit und grösster Zähigkeit. Leider ist dasselbe nicht ganz feuersicher.

Das äussere Aussehen des Isolacits ähnelt dem Steinkohlenteer. Die Festigkeit ist mit Pech zu vergleichen. Im angewärmten Zustande wird die Masse mit gewöhnlichem Pinsel verstrichen. Mehrfach übereinander aufgetragene Schichten verbinden sich ohne weiteres mit einander.

Die beste, und heute auch wohl am meisten angewendete Auskleidung ist die vermittelst Weichgummi. Diese Auskleidung entspricht allen Bedingungen, welche an sie gestellt werden müssen; sie ist bei sachgemässer Herstellung säurebeständig, feuerfest und elastisch, sodass sie allen Bewegungen des Wagenkastens folgen kann, ohne rissig zu werden.

Die Lage der Platten in den Batteriekästen wird meistens parallel zur Fahrtrichtung gewählt, um bei Stössen, plötzlichem Bremsen und ähnlichen Zufälligkeiten, welchen ein Strassenbahnwagen in

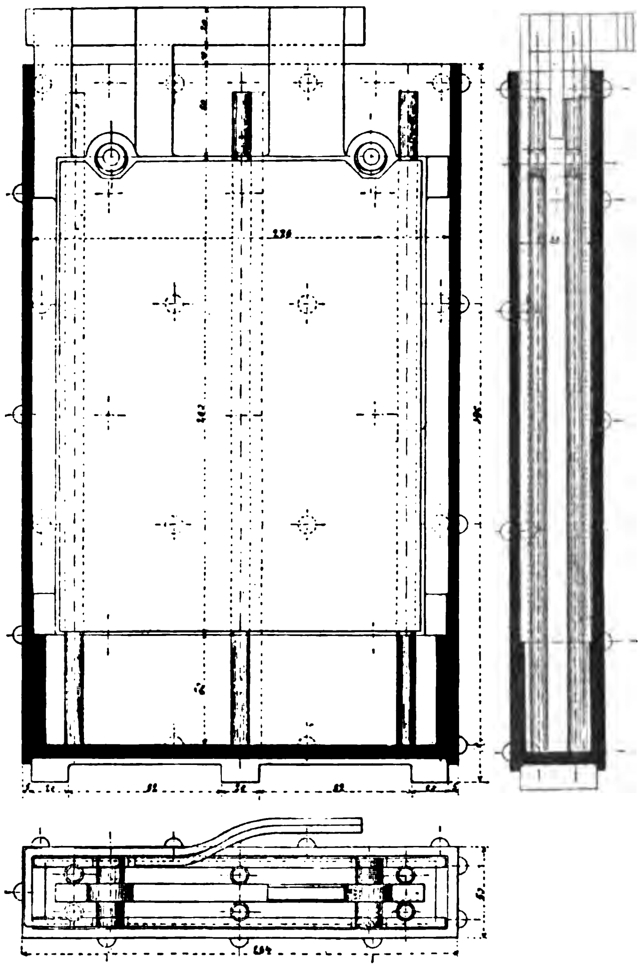


Fig. 333.

hohem Masse ausgesetzt ist, ein Aneinanderschlagen der Platten zu verhüten und dadurch die Isolation der einzelnen Platten gegen einander zu sichern, oder man stellt auch die Kästen so in die Wagen ein, dass die Platten eine Lage senkrecht zur Fahrtrich-

tung einnehmen, und verhindert durch die innere Konstruktion obige Befürchtungen.

Die Isolation der einzelnen Platten geschieht durch Glasröhren, wie Fig. 333 zeigt; bei anderen Konstruktionen sind isolierende, gelochte Zwischenwände angebracht, oder es können auch die Kästen gleich an den Wandungen Ansätze zum Auseinanderhalten der Platten besitzen.

Wenn während des Betriebes Masse aus den Platten herausfällt, oder wenn Fremdkörper in die Zelle hineinfallen, sammeln sich diese Teile im unteren freien Raume des Kastens, ohne elektrischen Schluss in dem Element hervorzubringen.

Infolge des geringen zur Verfügung stehenden Raumes macht sich ein sehr enger Einbau der Platten nötig. Um durch die starken Stösse nicht schädlich beeinflusst zu werden, müssen die Platten vollkommen unbeweglich in die Kästen eingebaut werden.

Für transportable Batterien werden ausschliesslich Hartgummikästen verwendet, da dieselben bei gutem Rohmaterial und sorgfältiger Ausführung allen Ansprüchen in Bezug auf Isolierfähigkeit, Haltbarkeit und Säurebeständigkeit entsprechen.

Die mit Blei ausgeschlagenen Holzkästen sind zu schwer und sind auch einer wirksamen Abkühlung der Zellen hinderlich, Celluloid ist zu feuergefährlich und Glas zu zerbrechlich.

Beim Einbau der Kästen in den Akkumulatorenraum dürfen nicht Flächen, sondern nur Punkte aneinander anliegen, um den Übergangswiderstand, also die Isolation der Zellen gegen einander, möglichst zu vergrössern.

Die Kästen sollen vollständig frei stehen, dass der zur Kühlung nötige Luftzug von allen Seiten an die Zellen herantreten kann. Der Boden wird dadurch frei gehalten, dass man die Hartgummikästen auf ebenfalls nur mit kleinen Flächen aufliegende hölzerne Brücken setzt; es wird dadurch zugleich der etwa herausspritzenden Säure Raum zum ungehinderten Ablaufen geboten. Die ablaufende Säure soll man auffangen, um sie nicht auf den Bahnkörper fallen zu lassen. Die Kästen sollen vollständig fest stehen, dass sie bei Stössen und Erschütterungen keine Bewegungen ausführen können.

Die erste der erwähnten Bedingungen wird durch entsprechend geformte Kästen oder durch Zwischenlegen von Leisten erfüllt. Die Hartgummikästen sind entweder mit runden Ansätzen versehen, wodurch die Gefässe ihre richtige Entfernung von einander erhalten; oder es sind an den Seitenwänden vorstehende Diagonalstreifen angebracht, welche den Kästen grosse Steifigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen das Werfen verleihen. Da sich die Zellen bei dieser

Anordnung ebenfalls nur in Punkten berühren, wird eine gute Isolation gegeneinander und eine wirksame Kühlung erzielt.

Über Montage und Behandlung von Wagenbatterien giebt das »Taschenbuch für Monteure elektrischer Strassenbahnen« von Max Schiemann und Fritz Loose, Verlag Oskar Leiner, Leipzig, nähere Daten.

a) Reiner Akkumulatorenbetrieb mit Tagesleistung.

Derartige Anlagen sind bisher sehr selten zur Ausführung gekommen. Erwähnt seien die Bahnen: Berlin-Charlottenburg (welche nach 2 jährigem Betriebe für gemischten Betrieb umgewandelt wurde), Bremerhaven (ETZ 1899, Heft 19, S. 342 ff.) Gent (ETZ 1899, Heft 27, S. 471 ff.), Worms-Ludwigshafen (Vollbahn) Ludwigshafen-Mundenheim, und zum Teil die vorher genannten älteren Bahnen.

Wenn es sich darum handelt, ohne direkte Stromzuleitung einen Wagen oder eine ganze Bahnstrecke zu betreiben, so liegt zunächst nichts näher, als der Wagenbatterie soviel Kapazität mitzugeben, dass der Wagen während eines Tages nicht wieder nachgeladen zu werden braucht. Es läuft die Erfüllung dieser Aufgabe darauf hinaus, die Batterie schwer zu machen, damit sie auch in den letzten Stunden des Betriebes noch genügend Anfahrstromstärke und Kapazität besitzt.

Rechnen wir im Höchstfalle und mit runden Zahlen 2 Amp. auf die Lade- und Entladestromstärke für das Quadratdecimeter positiver Elektrodenoberfläche, so ergiebt sich bei z. B. 200 Amp./St. Kapazität eine Fläche von mindestens 100 $qdm = 1\ qm$ für jede der hintereinander zu schaltenden Zellen oder Zellenpaare. Nun ist es durch neuere Fabrikationsmethoden gelungen, eine entsprechende Oberfläche bei verhältnismässig geringem Gewicht herzustellen. (Majert-Platte, ETZ 1899, Heft 45, S. 780; Blot-Platte; Gülcher-Platte u. a.)

Der reine Akkumulatorenbetrieb bietet die Möglichkeit, mit geringeren Spannungen im Wagen zu arbeiten, wodurch die Isolationen der Schalter, Apparate, Leitungen und Motoren mit einfacheren Mitteln durchführbar sind.

Die Schaltung der Akkumulatoren-Zellen bei reinem Akkumulatorenbetrieb bietet nichts besonderes. Während der Ladung ist die Wagenbatterie in den Ladungsstromkreis eingeschaltet, bei der Entladung wird die Dynamomaschine durch den Wagenelektromotor ersetzt. Die durchschnittliche Ladespannung beträgt 2,4 Volt und die durchschnittliche Entladespannung 1,9 Volt. Man muss es im praktischen Betriebe vermeiden, mit Zellenschaltern oder Vorschaltwider-

ständen zu laden, da niemals alle Wagen zu gleicher Zeit mit der Ladung beginnen können. Für jeden Wagen jedoch diese bei stationärem Lichtbetrieb notwendigen Apparate vorzusehen, ist der erforderlichen Aufsicht wegen nicht durchführbar.

Als Nachteil dieses Systems ist der Umstand zu betrachten, dass die Kraftstation nur während weniger Nachtstunden ausgenutzt werden kann und dass die Batterien zu schwer werden müssen. Als Vorzug darf der gänzliche Fortfall von Kabelleitung gelten.

Über das eigentliche Anwendungsgebiet des beschriebenen Systems ist in der am Schluss dieses Kapitels erfolgten Gegenüberstellung der einzelnen Systeme noch näheres mitgeteilt.

Die im Frühjahr 1898 vom Verfasser vorgenommenen Wattstundenmessungen an den Betriebsmitteln der Berlin-Charlottenburger Strassenbahn geben ein klares Bild von den Verhältnissen der s. Zt. grössten Akkumulatorenbahn des reinen Systems. Die hier gewonnenen Resultate stimmen annähernd mit denen überein, die Dr. Sieg in Bremerhaven und Hauswaldt in Frankfurt a. M. zu verzeichnen haben und können daher als Grundlagen dienen.

Es kam bei diesen Messungen darauf an, die Elektrizitätsmengen, die Anfahrstromstärken und die Stromstösse bei der Fahrt zu bestimmen, welche die für die Tagesleistung berechneten Akkumulatorenbatterien in den betreffenden Wagen haben müssten, um ohne Ladeunterbrechung den ursprünglich gedachten Tagesbetrieb aufrecht erhalten zu können. Da sich nämlich gezeigt hatte, dass die Kapazität der Batterien nachliess, galt es zugleich festzustellen, ob etwa der Wattverbrauch der elektrischen Wageneinrichtung, oder ob die auftretenden Stösse zu gross waren, sodass die Batterien in ihrer Güte herabgedrückt wurden, und schliesslich welche Vorbeugungsmittel anzuraten seien, um den Verfall der Wagenbatterien zu verhindern. Zu den Versuchsfahrten wurden sechs beliebige Wagen gewählt, welche verschiedenartige Schaltungen und Motoren besassen.

Die bestehende Vielseitigkeit der elektrischen Einrichtung an dieser Bahn wurde s. Z. durch das Bestreben hervorgerufen, die für Akkumulatorenbetrieb günstigsten Verhältnisse in der Betriebspraxis zu erproben. Es wurden daher sowohl Hauptstrommotoren als auch Nebenschlussmotoren, und diese mit verschiedenartigen Anker- und Magnetschenkelschaltungen zu den Messfahrten herangezogen.

Bei sämtlichen Wagen erfolgt die Hauptregulierung der Geschwindigkeit durch Parallel- und Hintereinanderschalten der zwei Batteriehälften, während die Zwischenstufen durch Schenkelnebenschluss reguliert werden. Für den Anlass sind Ankervorschaltwiderstände in Anwendung.

Beim Übergang der Batterien von Parallelschaltung auf Hintereinanderschaltung sind vor den Anker 2—3 Widerstandsstufen angeordnet, um einem plötzlichen Spannungsunterschied zwischen 180 und 360 V vorzubeugen.

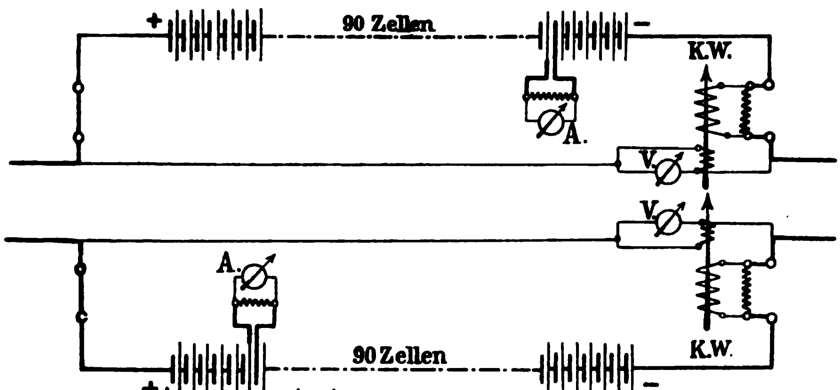
Die sämtlichen Versuche wurden derart gemacht, dass Einwendungen gegenüber den Erfahrungen im Betriebe ausgeschlossen waren, indem mit den Versuchsfahrten genau die Verhältnisse des Betriebes betreffs der Geschwindigkeiten, des Anhaltens, des Anfahrens und der Schnelligkeit des Anfahrens nachgeahmt wurden. Der Versuchswagen folgte stets in kurzer Entfernung dem Betriebswagen, sodass man die Bewegung des vorderen Wagens genau beobachten konnte. Das Anhalten geschah ebenso schnell wie im gewöhnlichen Betriebe, wobei bemerkt werden muss, dass beim allmählichen Auslaufenlassen eines Wagens und bei Nachholung der dadurch versäumten Zeit durch schnellste Fahrstufe ein bedeutend günstigerer Wattverbrauch zu erzielen gewesen wäre. Die Witterungsverhältnisse während der Versuchsfahrten waren die denkbar verschiedensten. Regen, Wind und Sonne wechselten miteinander ab und waren selbst während einer Fahrt nicht konstant. Die Beschaffenheit der Fahrschienen ist sowohl durch die Art der Verlegung in Beton und Asphalt, in Pflastersteinen und in chaussierter Strecke, als auch durch die verschiedene Möglichkeit der Schienenreinhaltung in Charlottenburg, im Tiergarten und in den Berliner Strassen eine wechselnde und zeigt auch hierin einen durschnittlichen Zustand. Es wurden ferner bei diesen Fahrten reine Geschwindigkeitsmessungen vorgenommen und bei diesen Geschwindigkeiten die entsprechenden Stromstärken abgelesen. Unter Multiplikation mit der konstanten Spannung ergab sich daraus direkt der Wattverbrauch, der natürlich wesentlich günstiger war als der durchschnittliche Betriebsverbrauch.

Diese Geschwindigkeitsmessungen wurden derartig gemacht, dass auf der Strecke an mehreren Stellen 100 *m* abgemessen und die Stationen durch sichtbare Zeichen (rothe Striche) an der Bordschwelle bezeichnet wurden. Mit justierbaren Sekundenuhren wurde die Geschwindigkeit, welche der Wagen zwischen derartigen Stationen angenommen hatte, bis auf eine halbe Sekunde genau festgestellt. Der Wagen war vorher in seinen Beharrungszustand gebracht worden, sodass die Beschleunigung für diese Strecken ausser Betracht kam.

Bis auf den Floraberg in Charlottenburg läuft die Bahn auf ebenem Terrain, besitzt nur wenig Kurven, hatte vollständig neue Gleisanlage (Haarmann Profil 35 h und 47 f^{S}) und erleidet durch anderen Fuhrwerksverkehr wenig Beeinträchtigung.

Das Durchschnittsresultat aller dieser sechs zur Messung gekommenen Wagen war ein Energieverbrauch von im Mittel 27,75 Wattstunden für jedes Tonnenkilometer einschliesslich der Haltestellen. Die Messapparate wurden angeordnet, wie Fig. 334 zeigt.

Der Stromverbrauch wurde mit einem Siemens & Halske'schen Präcisions-Volt- und Amperemeter an jeder Batteriehälfte gemessen. Je ein Strommesser wurde in die Verbindung zweier Akkumulatorenzellen gelegt. Diese Verbindungsleitung wurde ersetzt durch einen bekannten Widerstand, zu welchem im Nebenschluss die Messapparate geschaltet waren. Ferner wurde die Spannung jeder Batteriehälfte gemessen und bei den Fahrten sowohl die beiderseitige Span-



A: Ampèremeter.
V: Voltmeter.
KW: Kilowattstundenzähler.

Fig. 334.

nung, als auch die Stromstärke und Stromstösse möglichst oft notiert. Die Spannung hielt sich durchweg auf ihrem Anfangswerte, und es konnte ein Abfall bei den frisch geladenen Batterien während der Versuchsfahrten nicht festgestellt werden.

In jede Batteriehälfte wurde ferner an die Klemmen der Strom- und Spannungsmesser ein selbstregistrierender Kilowattstundenzähler geschaltet. Derselbe wurde vor seiner Ingebrauchnahme geaicht.

Zur Kontrolle dieser Kilowattstundenzähler während der Fahrt wurden einige Fahrten mit fünfsekundlichen Ablesungen an den Strom- und Spannungsmessern gemacht, während die Kilowattstundenzähler weiter registrierten.

Die Kilowattstundenzähler waren für eine Betriebsspannung von 135—190 Volt und für eine Maximalstrombelastungvon 150 Amp. gebaut.

Die meisten Versuchsfahrten wurden mit unbelastetem Wagen gemacht, d. h. ausser den Messenden war keine Personenbelastung vorgesehen. Der spezifische Wattverbrauch stellt sich dadurch natürlich ungünstiger. Zum Ausgleich wurden noch einige Fahrten mit Volllast gemacht. Das Resultat in der Praxis wird daher zwischen diesen beiden Werten liegen und drückt sich in dem gegebenen Durchschnittswert von 27,75 Wattstunden-Tonnenkilometer aus. Defekt gewordene Betriebswagen wurden mitunter von dem Messwagen nach dem Depot befördert, wobei die Batterien starke Beanspruchungen zu erleiden hatten.

Der Nebenschluss wurde auch auf den Endpunkten nicht geöffnet, weil eine derartige Handhabung im Betriebe nicht durchführbar ist, also auch bei den Versuchen, die dem praktischen Betriebe nachgeahmt wurden, nicht angewandt werden durften.

Um auch etwaige Steigungen oder Gefälle, die zu Gunsten oder Ungunsten der Geschwindigkeit ausfallen konnten, auszuschliessen, wurde genau dieselbe Strecke bei Hin- und Rückfahrt mit genau denselben Schalterstellungen in das Bereich der Geschwindigkeitsmessungen gezogen. Zugleich wurde hierdurch, da die Vergleichsmessungen immer für Hin- und Rückfahrt gelten, der Einfluss des Vorderwindes auf die Zugkraft bezw. auf die Arbeitsleistung des Wagens eliminiert.

Ein von der Seite den Wagen treffender Wind würde natürlich in beiden Fahrrichtungen das Messresultat ungünstiger beeinflussen. Da sich indessen die ganze Strecke in bebautem Terrain bezw. zwischen den Bäumen des Tiergartens hinzieht, kann hier der Seitenwind keinen allzu grossen Wert gewinnen.

Es sind durchweg vierachsige Wagen mit Drehgestellen probiert worden, deren Gewichte bei den Versuchsfahrten sich folgendermassen zusammensetzen:

Wagen von Siemens & Halske, A.-G.:

Wagenkasten und Untergestell	9 800	*kg*
Akkumulatoren	6 840	»
Elektrische Ausrüstung	3 200	»
zusammen	19 840	*kg*
Personenbelastung	360	»
zusammen ca.	20 200	*kg*

Wagen der A.-G. Elektrizitätswerke vorm. O. L. Kummer & Co.:

Wagenkasten und Untergestell . . .	9 800	*kg*
Akkumulatoren	5 000	»
Elektrische Ausrüstung	2 300	»
zusammen	17 100	*kg*
Personenbelastung	500	»
zusammen ca.	17 600	*kg*

Die Belastung erfolgte nur durch den Wagenführer und 4—7 Personen, die für die Messung erforderlich waren, sodass ein Gesamtgewicht von ca. 20 200 *kg* bezw. 17 600 *kg* in Rechnung zu ziehen ist. Die künstliche Belastung erfolgte durch 56 bezw. 60 Bleibarren von je einem Gewicht von 50 *kg*, zusammen also 2800 bezw. 3000 *kg*.

Die Wagenkästen haben 30 Sitzplätze, die äusseren Plattformen 2×6 Stehplätze.

Die Gesamtlänge der Strecke beträgt 7800 *m*, die Teilstrecken weisen die hier folgenden Längen auf:

	Meter
Kupfergraben-Brandenburger Thor	1500
Brandenburger Thor-Siegesallee	270
Siegesallee-Kleiner Stern	817
Kleiner Stern-Grosser Stern	645
Grosser Stern-Bahnhof Tiergarten	918
Bahnhof Tiergarten-Kanalbrücke	380
Kanalbrücke-Knie	660
Knie-Leibnizstrasse	442
Leibnizstrasse-Kirchstrasse	353
Kirchstrasse-Spreestrasse (Wilhelmplatz) . .	330
Spreestrasse-Wilmersdorferstrasse	139
Wilmersdorferstrasse-Westend	1346
	7800

Diese Anzahl der sämtlichen, durch Haltetafeln kenntlich gemachten Haltestellen beträgt auf der ganzen Strecke zwischen Westend und Kupfergraben einschliesslich der beiden Endhaltestellen 26. Die mittlere Entfernung derselben ist mithin 304 *m*.

Der erste Versuchswagen besass zwei Nebenschlussmotoren von je 185 Volt Spannung, deren Anker hintereinander geschaltet waren und deren Schenkel besonders von einer Batteriehälfte erregt wurden.

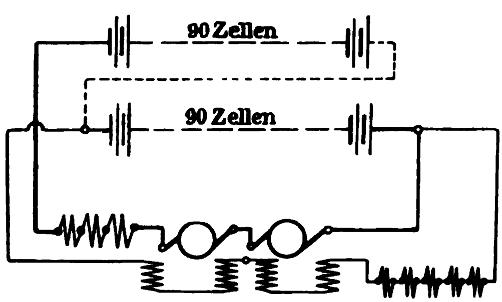


Fig. 335.

Der Regulierwiderstand besass fünf, der Anlasser drei Stufen, wie Fig. 335 zeigt.

Zwei Wagen besassen Motoren für 185 Volt, alle übrigen Wagen der gleichen Type haben 370 Volt-Motoren. Die Hintereinanderschaltung

der Anker ist, da die Batterien ebenfalls hintereinander geschaltet werden, in dem ersteren Falle Bedingung. Beim Anfahren ergab sich eine Stromstärke von 80 Amp. Beim Umschalten von der Parallelschaltung auf Hintereinanderschaltung gingen die Stösse ebenfalls bis 80 Amp. Die Batterien, welche sämtlich für eine momentane Maximalentladung von 100 Amp. eingerichtet sind, wurden also durch diese Stösse nicht ungünstig beeinflusst.

Die Spannung der beiden Batteriehälften war ungefähr 180 Volt. Die Strommesser zeigten beim Anfahren eine Differenz von 20 bis 30 Amp.

Mit diesem Versuchswagen von 20 200 *kg* Gewicht wurden drei Doppelfahrten gemacht und ergab sich unter Einhaltung der fahrplanmässigen Fahrzeiten bei 86 Haltestellen bezw. bei 86-maligem

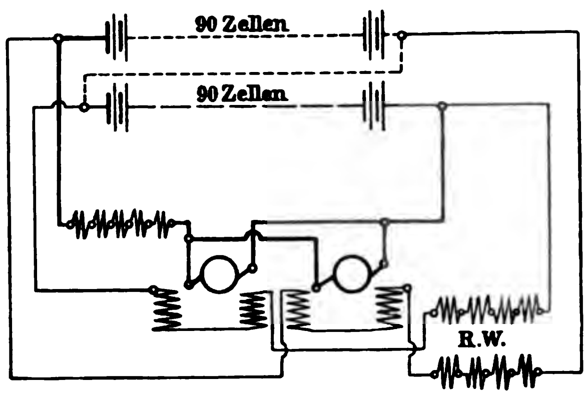


Fig. 336.

Anfahren (d. h. 1,84 Haltestellen auf 1 *km*) ein Arbeitsverbrauch von 25 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Weiter wurde mit demselben Wagen eine Doppelfahrt im belasteten Zustande gemacht. Das Gewicht betrug hier rund 23 000 *kg*. Bei 29 Anfahrten (d. h. 1,86 auf 1 *km*) ergaben sich 23 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Der höchste Stromstoss beim Umschalten betrug 110 Amp., beim Anfahren 60 Amp. Die Geschwindigkeit bei Parallelschaltung der Batterie ergab sich zu 14 *km*/Std., bei Hintereinanderschaltung der Batterien zu 20 *km*/Std.

Das Wetter war klar mit geringem Wind. Die Schienen waren trocken.

Der zweite Versuchswagen besass zwei Nebenschlussmotoren für je 370 Volt Spannung, deren Anker nach beistehendem Schaltungsschema Fig. 336 parallel geschaltet sind.

Die Regulierwiderstände besitzen je 4 Stufen, der Anlasser für die Anker ist 5-mal abgestuft.

Die grösste Anfahrstromstärke war 70 Amp., die grössten Stromstösse beim Hintereinanderschalten gingen bis zu 140 Amp. Als ein nach dem Depot zu befördernder, schadhaft gewordener Betriebswagen von diesem Versuchswagen weiter befördert werden musste, ergaben sich die Fahrstromstärken von 70 Amp. auf der Steigung an der Leibnizstrasse und Stromstösse bis 120 Amp. Bei gutem Einschalten bezw. Umschalten auf Hintereinanderschaltung der Batterien waren Stromstösse über 100 Amp. nicht bemerkbar. Der konstante Erregerstrom war auf beide Batterien gleichmässig verteilt.

Unter Einhaltung der vorschriftsmässigen Fahrzeiten ergab sich bei 52 Haltestellen, d. h. 1,67 Anfahrten auf 1 *km*, 31,8 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Das Wetter bei diesen Versuchsfahrten war abwechselnd trübe mit geringem Regen und sonnenklar.

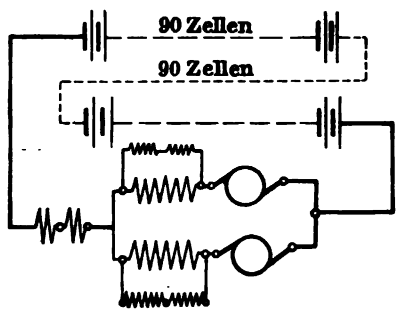


Fig. 337.

Der dritte Versuchswagen besass zwei parallel geschaltete Hauptstrommotoren. Die Schenkel waren mit zwei Stufen Magnetschwächung im Nebenschluss versehen, wie Fig. 337 zeigt. Vor dem Motor liegen zwei Anlassstufen. Die Anfahrstromstärken gingen auf die dreifache Fahrstromstärke in die Höhe. Die durch Thermometer festgestellte, ungleichmässige Temperatur der Batterien lässt auf ungleichmässiges Arbeiten der Batterien schliessen.

Mit diesem Wagen wurden nur zwei Doppelfahrten gemacht, weil die Durchschnittszahlen der beiden ersten Doppelfahrten sehr gute Übereinstimmung zeigten.

Der Arbeitsverbrauch für 1 Tonnenkilometer betrug 26,2 Wattstunden bei 1,89 Anfahrten für jedes Kilometer. Mit diesem Wagen wurde eine dritte Doppelfahrt mit Volllast von 23 000 *kg* bei 1,86 Anfahrten pro Kilometer gemacht und erniedrigte sich der Wattverbrauch auf 25,3 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Die Stromstösse beim Anfahren waren in beiden Fällen bis zu 60 Amp., beim Umschalten von parallel auf hintereinander bis zu 110 Amp. zu bemerken. Bei Parallelschaltung der Batterien wurde eine Geschwindigkeit von 12,2 *km*/Std. und bei Hintereinanderschaltung eine solche von 25,7 *km*/Std. erreicht.

Die Resultate dieses Wagens lassen den berechtigten Schluss zu, dass die Hauptstrommotoren denselben wirtschaftlichen Effekt geben, als die mit komplizierten Schaltungen versehenen Nebenschlussmotoren und dass es überflüssig erscheint, bei derartigen Bahnen Nebenschlussmotoren anzuwenden.

Der nächste Wagen besass zwei Nebenschlussmotoren, deren Anker parallel und deren Schenkel, hintereinander geschaltet, von einer Batteriehälfte erregt werden. Nach diesem in Fig. 338 dargestellten Schaltungsschema sind die meisten Wagen geschaltet. Bei Hintereinanderschaltung der Batterien wird lediglich durch den Anlasser abgestuft.

Die unbelasteten Fahrten ergaben bei 1,89 Haltestellen für 1 *km* 28,7 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Anfahrstrom war bis zu 90 Amp. und Stromstoss beim Umschalten bis zu 130 Amp. zu bemerken. Auch mit diesem Wagen wurde am 14. Mai eine Doppelfahrt mit voller Belastung gemacht und ergab sich unter sonst gleichen Verhältnissen bei 1,99 Anfahrten ein Arbeitsverbrauch von 31 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer.

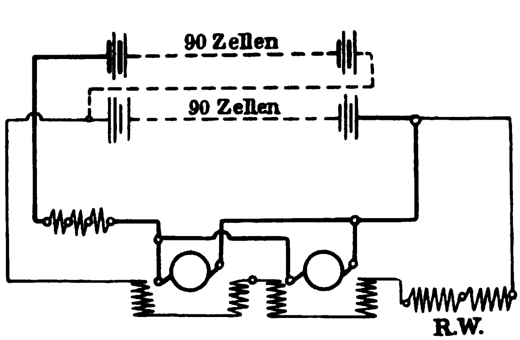


Fig. 338.

Bei diesem Wagen mit parallel geschalteten Ankern steht der Stromverbrauch nicht wesentlich ungünstiger da, als der Durchschnittsverbrauch der anderen Wagen, trotzdem sich die beiden Anker der Nebenschlussmotoren in Parallelschaltung befinden. Das unrationelle Arbeiten, welches man bei zwei ein und denselben Wagen treibenden Nebenschlussmotoren behaupten will, scheint hierdurch widerlegt und dürfte seinen Grund darin haben, dass thatsächlich eine starre Kuppelung zwischen den angetriebenen Achsen ein und desselben Wagens nicht vorhanden ist, sondern dass dieselbe sehr elastisch ist, wodurch es möglich wird, dass zwei Motoren mit gleicher Schenkelerregung auch mit ihren Ankern parallel geschaltet werden können.

Der nächste Versuchswagen hatte die gleiche Schaltung nach Fig. 338.

Bei 51 Anfahrten, d. h. 1,64 auf 1 *km*, ergaben sich 32 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Der grösste Stromstoss beim An-

fahren war 60 Amp., und derjenige beim Umschalten 112. Die Geschwindigkeit des Wagens mit Parallelschaltung der Batterien war 15 *km*/Std., mit Hintereinanderschaltung 24 *km*/Std.

Der nun folgende letzte Wagen wurde mit 7 Personen und 60 Bleibarren belastet und wog so 20 600 *kg*. Bei zwei Doppelfahrten wurde 69 mal angehalten, was 2,21 Anfahrten für 1 *km* ergiebt. Die höchste erreichbare Geschwindigkeit bei hintereinander geschalteten Batterien betrug 20,5 *km*. Die Anfahrstromstärken gingen bis zu 65 Amp., die höchsten Stromstösse bei Bergfahrten und ungeschickter Schalterbewegung bis zu 120. Der mittlere Arbeitsverbrauch betrug 26,8 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer. Stösse beim Umschalten der Batterien waren nur unbedeutend. Nicht ohne Einfluss auf den als günstig erscheinenden spezifischen Wattverbrauch ist der Umstand geblieben, dass bis zur vollen Geschwindigkeit von 20,5 *km*/Std. die Beschleunigungsarbeit geringer ist, als bei den anderen mit 24 bis 25 *km*/Std. Geschwindigkeit fahrenden Wagen.

Tabellarische Zusammenstellung der Messresultate.

Wagen-nummer	Gewicht des Wagens während des Versuches in *kg*	Anzahl der Haltestellen, bezogen auf 1 *km* Betriebslänge	Durchschnittlicher Wattstunden-verbrauch für 1 Tonnenkilometer	Geschwindigkeit des Wagens bei Schaltung der Batterien: parallel *km*/Std.	hinter-einander *km*/Std.
{ 227	20200	1,84	25,0	16,0	23,0
{ 227	23000	1,86	23,0	14,0	20,0
222	20200	1,67	31,8	12,0	24,0
{ 221	20200	1,89	26,2	16,0	25,5
{ 221	23000	1,86	25,3	12,2	25,7
{ 214	20200	1,89	28,7	15,0	25,5
{ 214	23000	1,99	31,0	14,0	24,0
228	20200	1,64	32,0	15,0	24,0
220	20600	2,21	26,8	—	20,5
Summa	190600	16,85	249,8	114,2	212,2
Durchschn.-werte . . .	21200	1,87	27,75	14,3	23,6

Aus dieser Zusammenstellung folgt, dass die verschiedenartigen Schaltungen der Motoren keinen grossen Einfluss auf den Wattverbrauch ausüben, mithin es überflüssig scheint, diesem Punkte besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Die allgemeinen äusseren Betriebsverhältnisse sind immer wichtiger, als die Konstruktionseinzelheiten.

Es ist noch von Interesse, die Messungsresultate der Akkumulatoren-Bahn in Bremerhaven gegenüber zu stellen.

Diese Wagen wurden bei verschiedener Geschwindigkeit verglichen. Hier folgen die Mittelwerte von Nachtfahrten ohne Anhalten. Die abgemessene Strecke war genau 1 *km* lang, Spannung und Stromstärke wurden alle Sekunden mittels Weston-Präcisionsinstrumenten gemessen und notiert, der Wagen enthielt ausser dem Wagenführer nur die zwei Beobachter. Der Strom für das einmalige Anfahren ist in den Zahlen mit enthalten, die Schienen waren feucht und schmierig.

Kontroller-stellung	Stromverbrauch Watt-stunden/*km*		Geschwindigkeit im Mittel *km*/Std.	Watt/Std. f. 1 T-*km*
3	200	9,75 t-Gew.	10	20,5
4	240		15,7	24,5
5	260		17,75	26,6
6	260		18,3	26,6
7	360		26	37
Dasselbe mit 1 leeren Anhängewagen:				
5	311	14 t	16	22
6	340		17	24,3

Der hohe Stromverbrauch auf Stellung 7 überrascht, doch ergiebt die Nachrechnung, dass allein zur Erzielung der lebendigen Kraft des Wagens bei der schliesslichen Geschwindigkeit von über 30 *km* ca. 130 Wattstunden erforderlich sind, demnach für die Reibungsarbeit nur 230 Wattstunden/Kilometer verbraucht wurden, also wenig mehr als für langsame Fahrt, bei der die reine Reibungsarbeit ca. 180 Wattstunden erforderte. Für den leeren Anhängewagen waren nur 20% des für den Motorwagen erforderlichen Stromes nötig; daher ist der Fehler unserer Berechnung, der durch Vernachlässigung der Anhängewagenkilometer entsteht, kaum grösser als 10%. Die hier günstiger scheinenden Werte haben ihren Grund in der Art der Messfahrten, bei denen es mehr auf Probefahrts-Werte als auf Betriebswerte ankam. Die Beschleunigungskraft beim Anfahren ergiebt die Differenzwerte.

b) Reiner Akkumulatorenbetrieb mit Schnellaufladung an den Strecken-Endpunkten (Nachladebetrieb).

Um den Hauptnachteil des vorstehenden Betriebssystems, nämlich die schweren Batterien für Tagesbetrieb, zu umgehen, hat man an das eine Ende der von den Akkumulatorenwagen zu befahrenden Strecken Kabelleitungen geführt, welche in sogenannte Ladeständer ausmünden. Dies sind architektonisch verzierte, ca. 1,5 *m* hohe Säulen,

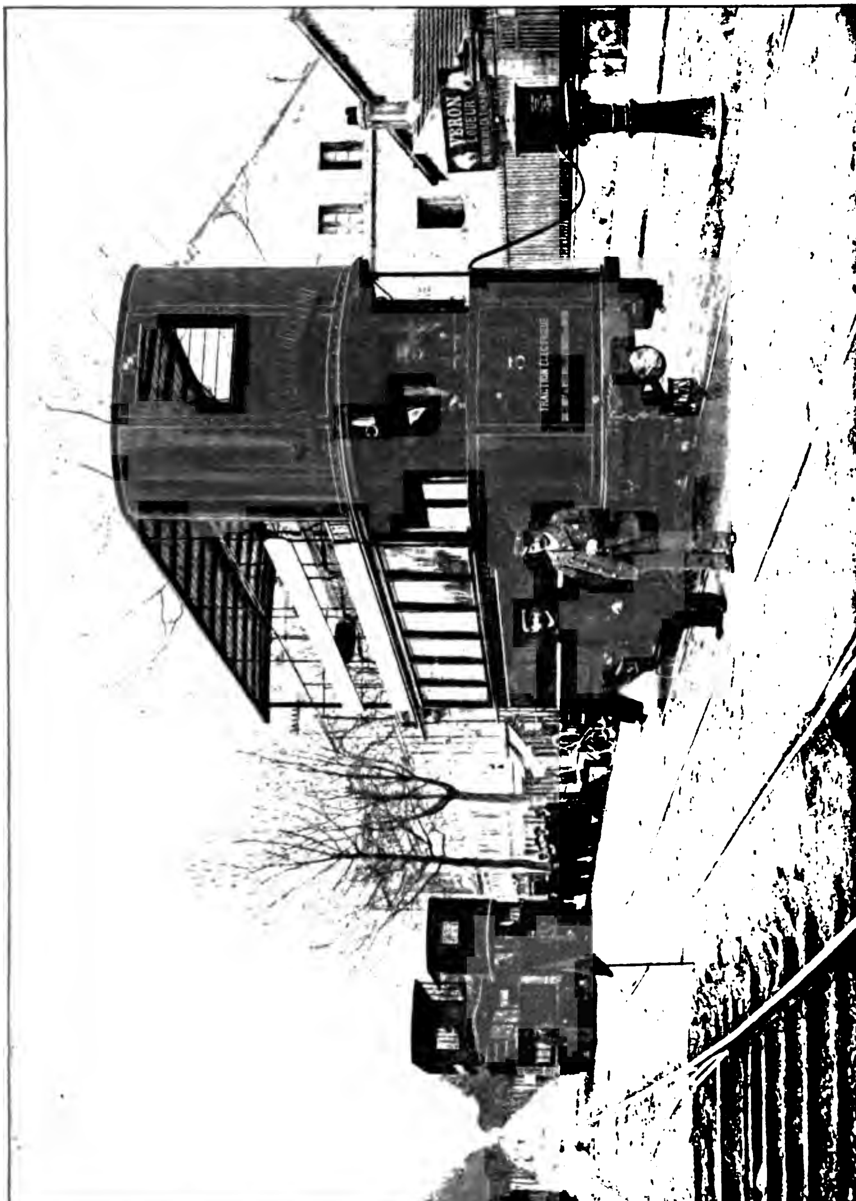


Fig 339.

welche die erforderlichen Schalter (Hebelschalter und Automat), Strommesser, Sicherung, Ladungsanzeiger u. s. w. enthalten. Dem Wagen, der in unmittelbarer Nähe dieses Ständers hält, wird durch



Fig. 340.

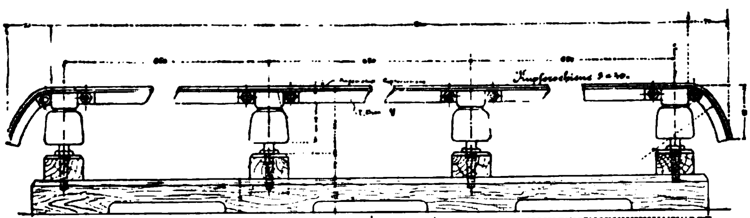
ein biegsames Leitungsseil der Ladestrom in äusserst kurzer Zeit zugeführt. In Paris findet auf drei, je ca. 6,5 *km* langen Linien derartiger Betrieb statt. Die 200zelligen Batterien, von der Akku-

mulatorenfabrik Hagen-Berlin geliefert, wiegen je 3600 *kg* und werden trotz dieser Grösse nach jeder Rundfahrt (Hin- und Rückfahrt) in 10 Minuten mit einem Ladestrom von 120 Amp. bei ca. 450 Volt geladen.

Fig. 339 stellt diese Bahn an einer Ladestelle dar. Jeder der 35 Betriebswagen fasst 52 Plätze und wiegt besetzt mit Batterie 14 *t*. Jede Achse wird durch einen vierpoligen 25 P S-Motor angetrieben.

Eine weitere Anlage dieser Art befindet sich in Kopenhagen mit 2 *t* schweren Batterien.

In Frankfurt a. M. ist von den Akkumulatoren-Werken System Pollak Aktien-Gesellschaft am 15. Mai 1897 eine Bahn



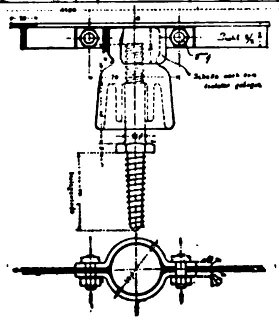


Fig. 341.

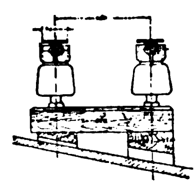


Fig. 342.

dieses Systems als Versuchsstrecke zwischen Hauptbahnhof und Galluswarte, 1541 *m* lang, eingerichtet worden. (Fig. 340.)

Die elektrische Einrichtung der drei 34 Plätze fassenden Wagen besteht aus der Akkumulatorenbatterie, einem Elektromotor, zwei Anlassern und den nötigen Verbindungsleitungen. Die Akkumulatoren befinden sich wie gewöhnlich unter den Sitzen und sind in Hartgummizellen eingebaut.

Auf dem Wagendach befinden sich zwei isoliert angebrachte Kupferschienen, welche mit den beiden Polen der Batterie in Verbindung stehen. (Fig. 341 u. 342.)

An Stelle des vorher beschriebenen Ladeständers ist hier am Streckenendpunkt ein Auslegermast mit zwei, den Dachschienen ent-

sprechenden Dynamomaschinenpol-Pendeln aufgestellt, wie aus Fig. 343 ersichtlich ist.

Die Pendel legen sich selbstthätig auf die Wagendachschienen,

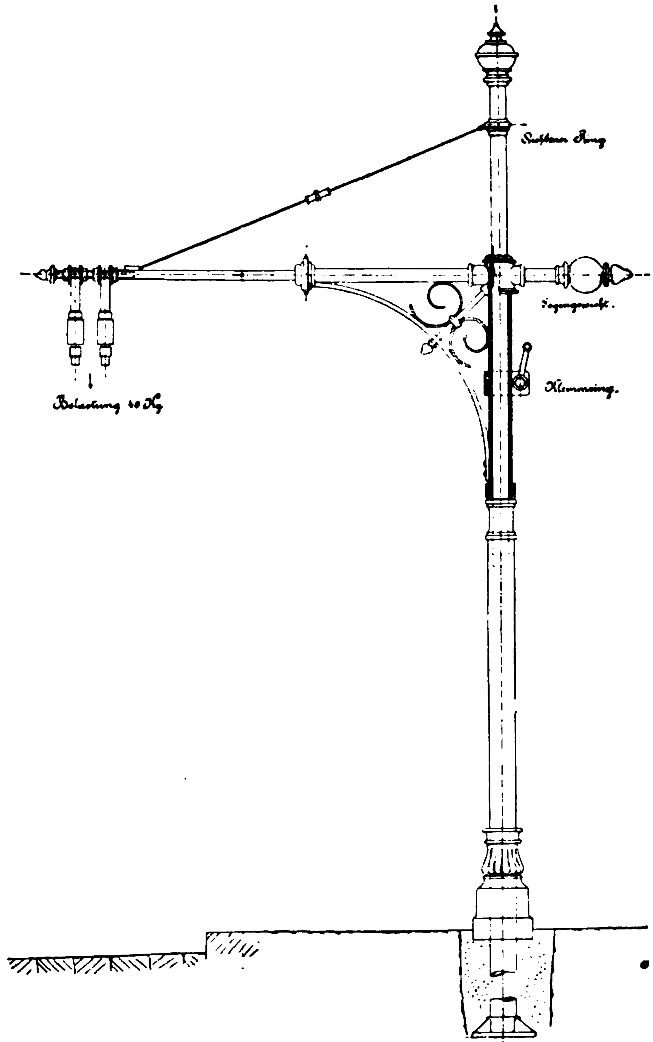


Fig. 343.

wenn der Wagen unter dem Ausleger steht, und laden ohne weitere Vorrichtung die Wagenbatterie für die nächste Rundfahrt wieder um fast ebensoviel auf, als bei der letzten Streckenfahrt verbraucht

worden ist. Da die Zellen eine Aufladung mit hoher Stromstärke gestatten, ist es möglich, während des normalen Endaufenthaltes der Wagen in nur 4 bis 6 Minuten aufzuladen. An den Klemmen der Ladedynamo ergaben die Messungen einen Wattstundenverbrauch von 400 bei $10^1/_2$ *t* besetztem Wagengewicht, d. i. 9 *t* durchschnittlichem Gewicht. Der Durchschnittsverbrauch ergiebt sich mithin zu rd. 45 Wattstunden für 1 Tonnenkilometer, einschliesslich aller Arbeitsumsetzungs-Verluste.

Des Nachts wird nur noch eine halbstündliche Nachladung erforderlich. Die Batterie wiegt 2000 *kg*, ist aber für eine grössere Strecke als die befahrene konstruiert worden. Pollak ladet zu einer Fahrt von 17 Minuten nur 4—5 Minuten, sodass sich das Verhältnis von Ladung zu Entladung wie 1 : 4 ergiebt. Auf der Nörrebro-Linie in Kopenhagen dauert die Aufladung für eine Fahrzeit von etwa 30 Minuten 9—10 Minuten, d. h. also Ladezeit zur Entladezeit 1 : 3.

Eingehendere Beschreibungen dieser Bahn befinden sich in ETZ 1898, Heft 13, S. 214 und Z. d. V. d. Ing., 1898, Heft 27, S. 761.

Zu diesem System kann der im Jahre 1895 angestellte Versuchsbetrieb der Grossen Berliner Pferdebahn-Gesellschaft in Berlin (Werftstrasse-Moabit), über die Uppenborn in der Z. d. V. d. Ing. 1895, Heft 48, S. 1433 eingehend berichtet hat und der von der Firma Hostmann & Co. in Hannover in Gemeinschaft mit der Maschinenfabrik Oerlikon zwischen Hildburghausen und Hildburg bezw. auf der Waldbahn in Frankfurt a/M. während der elektrotechnischen Ausstellung 1891 erfolgte Akkumulatorenbetrieb gerechnet werden. Bei beiden Betrieben wurden die Wagen täglich mehrmals, aber in der Ladestation selbst, aufgeladen.

Der Akkumulatorenbetrieb mit Streckenleistung kann gegenüber dem Betrieb mit Tagesleistung den Vorteil für sich in Anspruch nehmen, die Kraftstation während 16—18 Stunden täglich voll auszunutzen, wobei auch noch in den Nachtstunden eine weitere Ausnutzung durch Aufladen der Batterien erfolgen kann. Die Wagen können morgens den Betrieb mit einer Vollladung beginnen, welche sich bis zum Betriebsschluss soweit erschöpft, dass noch ein Überschuss an Energie bleibt, der genügt, den momentanen Kraftverbrauchsschwankungen des Wagens (Anfahren, Steigungen) ohne Beschädigung der Platten folgen zu können.

Sind die Ladestellen von der Kraftstation weit entfernt, so wird man Dynamo und Kabel mit den üblichen Spannungen (500—600 Volt) betreiben und die Schaltungen im Wagen so wählen, dass die Zellen in Reihenschaltung geladen und in Parallelschaltung entladen werden. Befindet sich eine Gleichstromlichtanlage mit Drei- oder

Fünfleiter am Orte, so kann auch mit den entsprechenden Spannungen geladen werden. Auch bietet sich, wie z. B. bei der Bahn in Frank-

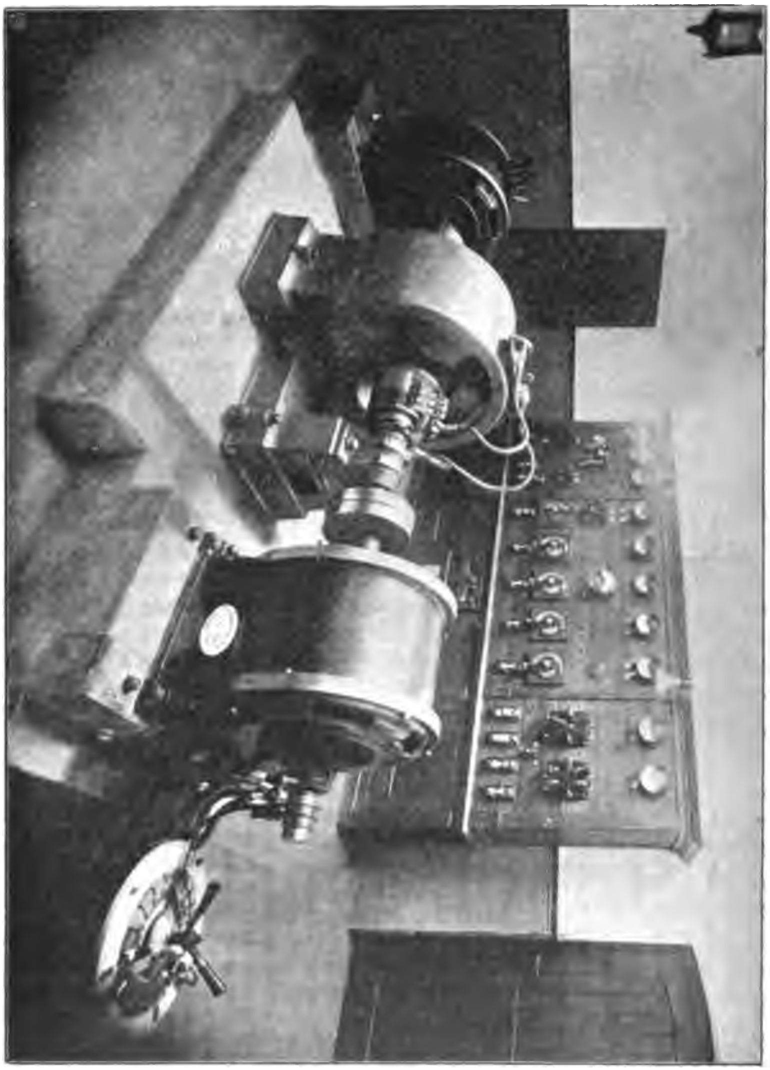


Fig. 344.

furt a/M., bei Wechselstromlichtanlage günstige Gelegenheit, zu den Zeiten des geringen Lichtbedarfes, Strom an die Bahnen abzugeben, wobei der Wechselstrom in rotierenden Wechselstrom-Gleichstrom-

Transformatoren zum Gleichstrom entsprechender Spannung umgewandelt werden musste. Eine derartige Umformerstation (Frankfurt a/M.) zeigt Fig. 344.

c) Gemischter Akkumulatorenbetrieb.

Derselbe hat Anwendung gefunden in Hannover, Dresden, Berlin, Halle a/S., Hagen i/W., und besteht darin, dass die Ladeeinrichtung des vorher beschriebenen Systems in die Länge gezogen worden ist gemäss der Strecke, welche für oberirdischen Betrieb eingerichtet werden durfte. Die Batterie bleibt stets an die Oberleitung geschaltet, vorausgesetzt, dass die Lade- und Entladestrecke ein entsprechendes Verhältnis zu einander haben, und dass die Betriebsspannung 2,5 Volt für jede Akkumulatorenzelle nicht übersteigt. Die unter der Oberleitung stattfindende Fahrt darf die Akkumulatoren niemals mehr als voll laden. Die Anordnung im Wagen zeigt

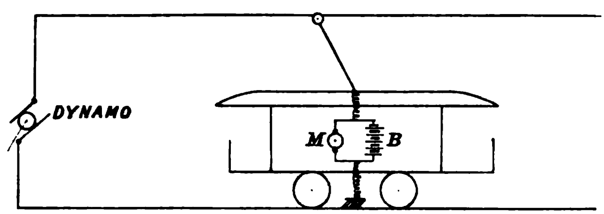


Fig. 345.

Fig. 345, woraus ersichtlich ist, dass die Batterie B und der Motor M während der Fahrt unter der Oberleitung (Ladestrecke) parallel geschaltet sind und bei der Entladestrecke Motor und Batterie hintereinander liegen müssen. Eine besondere Vereinfachung hat dieses System dadurch erlangt, dass keine anderen Apparate für die Batterie nötig sind, als sie für die direkten Stromzuführungen in Anwendung kommen. Die Betriebsspannung bei diesem System wird selbstverständlich bedingt durch die Spannung der mit direkter Stromzuführung betriebenen Strecke. Es ist hierbei nicht nötig, die Batterie mit hohen Ladestromstärken, wie in dem vorherigen System, zu speisen, da die Zeit der Ladung eine bedeutend längere sein kann. Die Entladestromstärken dagegen müssen auch hier so gross sein, dass ein Wagen bequem anfahren kann, ohne der Batterie Schaden zu thun. Über das Verhältnis zwischen Lade- und Entladestromstärken belehrt uns eine einfache Rechnung, deren Resultat ist, dass man die Entladestrecken möglichst klein machen muss, um die Batterie möglichst wenig arbeiten zu lassen. Da man unter der Oberleitung nur das Gewicht der Batterie mit zu schleppen hat,

nicht aber von deren Wirkungsgrad beeinflusst wird, so ist klar, dass es wirtschaftlich richtiger ist, die Strecke, bei der neben dem mitzuschleppenden Gewicht auch der Nutzeffekt der Akkumulatoren in Betracht kommt, möglichst klein zu machen. Die Ästhetik verlangt jedoch in den meisten Fällen eine Rücksichtnahme, wo der Techniker dieselbe nicht finden kann, sodass bei gemischtem Akkumulatorenbetrieb stets grössere Entladestrecken zu durchfahren sind.

Der gemischte Betrieb bietet gegenüber dem reinen Akkumulatorenbetrieb insofern Vorteile, als die Wagenbatterie nur eine geringere Kapazität zu besitzen braucht. Als Nachteil dieses Systems muss angeführt werden, dass stets der eine Pol an der Erde liegt, dass also eine gute Isolation gefordert werden muss, dass durch die periodischen häufigen Ladungen und Entladungen, welche oft über die zulässigen Grenzen hinausgehen, die Batterie mehr leidet, und dass sich wegen der starken Gasentwickelung während der Ladezeiten Schwierigkeiten in Bezug auf säure- und gasdichten Abschluss des Batterieraumes vom Wagenkasten ergeben.

Da die Wagenmotoren nur bei einer bestimmten Spannung ihren guten Wirkungsgrad und ihre hohe Leistung besitzen, so muss die Wagenbatterie bei gemischtem Betrieb der Betriebsspannung von meistens 500 Volt entsprechen.

Über den ältesten gemischten Akkumulatorenbetrieb hat Ross in der ETZ 1897, Heft 13, Untersuchungen veröffentlicht, aus welchen hervorgeht, dass daselbst in jedem Wagen eine Batterie von 2,6 *t* bei 208 Zellen und 20—25 Amperestunden Kapazität untergebracht ist. Der Wirkungsgrad der Batterie hat sich zu 70—74% ergeben. Die Kapazität der Batterie wird im gewöhnlichen Betriebe nur mit 25% ausgenutzt, was mit Rücksicht auf die ungünstigen Witterungsverhältnisse, die bei Schnee und Eis eintreten, eine angemessene Reserve im Interesse der Betriebssicherheit ist. Es hatte sich in Hannover z. B. ereignet, dass bei grossen Schneeverwehungen die Akkumulatoren nicht immer in der gewünschten Weise auf den Aussenstrecken geladen werden konnten, weil der Kontakt zwischen Rad und Schiene ein mangelhafter war, und die elektromotorische Gegenkraft der Batterien in diesem Falle das ihrige dazu beitrug, nur eine schwache Ladung zuzulassen. Die Batterien konnten alsdann die verbleibenden 75% ihrer Kapazität ausnutzen und dadurch den Betrieb besser aufrecht erhalten, als wenn die Batterien nur kleineren Leistungen gewachsen gewesen wären.

Beim 1898er Strassenbahn-Kongress berichtete Direktor Krüger-Hannover über Unterhaltungskosten seiner Batterien: »Im August 1897 hatten wir 30 Wagen im Betrieb und 38 installiert. Das Material kostete für jeden Wagen 15 M., Löhne 22,69 M., also kostete der

Wagen 37,69 M., was für jedes Kilometer automobil 1,95 Pf. ausmacht. Ein paar Monate später, im Januar 1898, einem ganz schlechten Monat, kostete das Material für jeden Wagen 49,54 M., die Löhne 30,12 M., zusammen 79,66 M. oder 3,532 Pf. für jedes Kilometer automobil. Im Juli 1898 hatten wir 117 Wagen im Betrieb. Das Material kostete nur 11,13 M., Löhne 29,94 M., zusammen 41,07 M. oder automobil 1,892 Pf. In den beiden ersten Betriebsjahren wurden 4296,442 *km* automobil durchlaufen, dazu mit gemischtem System 8168,888 *km*, und wenn man die Summe darauf verteilt, so sind die Kosten automobil 2,093 und gemischt 1,109 Pf. Das ist aber natürlich überall verschieden und gilt in Hannover für einen Strompreis von 5 Pf. für die kw/Std. (Bei einem Strompreis von 13,5 Pf. in Dresden wächst dieser Wert auf 4 Pf. für das Wagenkilometer.) Wichtig ist die Zahl von 2 Pf., die wahrscheinlich auf $1^1/_2$ Pf. heruntergehen wird, wenn alles eingerichtet ist.«

Man neigt im allgemeinen der Ansicht zu, dass die im Wagen mitgeführten Batterien eine ausgleichende Wirkung auf die Stromerzeugung, ähnlich einer Pufferbatterie, besitzen sollen. Die stationären Pufferbatterien sind aber so geschaltet, dass sie bei sinkender Spannung der Dynamomaschinen mit ihrer momentanen Höchstspannung direkt stromabgebend auf das Netz einwirken und so die Dynamomaschine momentan unterstützen können. Somit lässt sich eine ausgleichende und mithelfende Wirkung erklären, während diese bei den Wagenbatterien nur dann erfolgen kann, wenn die Netzspannung so weit sinkt, dass die Wagenbatteriespannung in ähnlicher Weise wirken kann, wie die stationäre Batterie. Man vergesse hierbei aber nicht, dass die Netzspannung stets ungefähr 5 % niedriger ist als die Klemmenspannung, und dass bei Rücksendung des Wagenbatteriestromes ein gleicher mittlerer Spannungsabfall eintreten wird, der alsdann 10 % gegenüber der Klemmenspannung ist. Ein Kraftausgleich innerhalb des Wagens kann jedoch nur bei verringerter Wagengeschwindigkeit entsprechend der Batteriespannung erfolgen, und diese ist bei den doch nur momentan wirkenden Spannungsschwankungen des Netzes infolge der bewegten Massen des Wagens nicht so schnell herbeigeführt. Die von Ross angegebenen geringeren Strom- und Spannungsschwankungen in der Centrale haben ihren Grund lediglich in der Vergrösserung des Betriebes und nicht in der ausgleichenden Wirkung der Akkumulatoren. Strom- und Spannungskurven von grossen Bahncentralen ohne jeden Akkumulator ähneln dem von Ross gegebenen Diagramm, sodass man sich also betreffs der ausgleichenden Wirkung transportabler Batterien nicht allzu grossen Hoffnungen hingeben darf.

Nächst Hannover besitzt Dresden seit Mai 1896 auf einer Linie einen gleichen gemischten Betrieb wie Hannover. Auch hier hat die Batterie eine Kapazität von 25 Ampèrestunden bei 200 Zellen, deren Gesamtgewicht aber nur 2000 *kg* beträgt. Die Batterie ist, ähnlich wie in Hannover, in der Weise an die übrigen Wageneinrichtungen angeschlossen, dass vom Stromabnehmer aus eine Leitung nach dem positiven Pol der Batterie geführt ist, in welcher sich der automatische Ausschalter befindet. Dieser dient dazu, die Batterie vor höherer Ladung und Entladung als 100 Ampère zu schützen. Alsdann folgt der Handausschalter, welcher am Führerstand angebracht ist, und durch welchen der Batteriestromkreis zur Ladung und Entladung geschlossen werden kann. Hinter demselben ist der Stromrichtungsanzeiger angebracht, der dem Wagenführer anzeigt, ob die Akkumulatoren geladen oder entladen werden. Der negative Pol der Batterie ist mit einem Erdausschalter versehen, welcher, da die Batterien im Betriebe dauernd an Erde liegen, den Zweck hat, bei Ausführung von Reparaturen die ganze Batterie von Erde abschalten zu können und die Möglichkeit eines Selbstentladens zu verringern. Ausser einer direkten Entladung durch Kurzschluss, kann auch ein Entladen der Batterie eintreten, wenn der Wagen längere Zeit in Ruhe steht, oder wenn der Wagenkontakt an der durch Zufall stromlos gewordenen Oberleitung anliegt. Falls bei Kurzschlüssen, wie dies in Hannover und Dresden vorgekommen ist, der Automat der Kraftstation ausspringt und nicht sofort wieder eingelegt wird, können die unter der Leitung befindlichen Batterien den Betriebsstrom nicht allein für die eigenen Wagen, sondern auch für andere auf gleicher Strecke befindliche hergeben. Es stellen sich dieselben in diesem Falle als fahrbare Kraftstationen dar.

Zwischen dem Erdausschalter und dem Schienenpol befindet sich der Perronschalter und Motor mit den auch für direkte Zuleitung angewandten Schaltungen, die eventuell wie in Hannover für die Entladung mit Parallel- oder Hintereinanderschaltung arbeiten. Die ganze Batterie ist noch durch drei Bleisicherungen gesichert; eine befindet sich am positiven Pol, eine am negativen Pol, während die dritte zwischen den beiden Batteriehälften eingeschaltet ist, was gleichzeitig ermöglicht, die Batterie in zwei Reihen laden zu können. Jede von der Akkumulatoren-Fabrik-Aktiengesellschaft, Hagen i/W. gelieferte Akkumulatorenzelle besteht aus zwei negativen und einer positiven Platte. Die negative Platte besitzt ein gitterförmiges Gerippe von gegossenem Hartblei und ist mit Bleiglätte ausgeschmiert. Die positive Platte besteht aus einer massiven Bleiform, welche nach dem reinen Planté-Verfahren formiert ist. Die Oberfläche einer positiven Platte beträgt 65 *qdm*, was bei der Kapazität von 25 Ampere-

stunden einer spezifischen Beanspruchung von einer Amperestunde auf 2,6 *qdm* entspricht. Diese Beanspruchung ist als eine sehr mässige zu bezeichnen und hat zur Folge, dass die Batterien ausserordentlich betriebssicher und betriebsbillig arbeiten. Ein Auswechseln der Platten hat in Dresden nach Jahresfrist nicht zu erfolgen brauchen.

Die Thätigkeit des Wagenführers erstreckt sich auch hier lediglich darauf, am Stromrichtungszeiger zu beobachten, ob der Akkumulator Strom erhält oder abgiebt. Letzterer Fall kann, wie bereits erwähnt, bei der Fahrt unter Oberleitung nur dann eintreten, wenn bei irgend welchen Störungen der Strom in der Oberleitung wegbleibt oder unter die Batteriespannung sinkt, sodass sich alsdann die Batterie auf das mit Betriebswagen besetzte Netz entladen kann. Um Überanstrengung der Batterie zu vermeiden, muss in solchem Falle der Akkumulator sofort ausgeschaltet werden. Dies automatisch selbst bei den geringsten Stromstärken zu erreichen, ist man bemüht. Die strikte Durchführung dieser Betriebsregel macht die vorhin erwähnte »Pufferung« ebenfalls illusorisch.

Im Jahre 1898 richteten die sächsischen Akkumulatorenwerke bei der Deutschen Strassenbahngesellschaft in Dresden für zunächst 12 Wagen einen gemischten Betrieb mit neuen Akkumulatorenplatten und eigenartigen Schaltungen ein.

Die positive Platte dieses Akkumulators, welche durch ein eigentümliches Pressverfahren hergestellt wird, besteht aus einer ca. 1 *mm* starken Bleiblechplatte, auf deren beiden Seiten gleichseitige Dreiecke von 0,5 *mm* Blechstärke und 4 *mm* Seitenlänge in Abständen von 0,2 *mm* hochkant so aneinandergereiht sind, dass die Spitzen der Dreiecke je eine vertikal verlaufende gerade Linie bilden. Eine Platte von 1,0 $\times$ 1,0 *dm* trägt auf ihren beiden Seiten $2 \cdot 25 \cdot 140 =$ 7000 Plättchen je 20 *qmm* doppelseitiger Oberfläche $=$ 14 *qdm* Gesamtoberfläche.

Durch die grosse Oberfläche sind die Akkumulatoren befähigt, auch bei höchster Strombelastung immer noch mit günstigem Nutzeffekt zu arbeiten, wodurch wiederum eine gute Haltbarkeit der Platten bedingt ist. Die negativen Platten bestehen auch hier aus pastierten Gittern.

Eine Wagenbatterie von 200 Elementen wiegt einschliesslich Kästen, Säure und Ableitungen 1800 *kg* und hat eine Kapazität von 25 Amperestunden.

Die Verbindung der einzelnen Elemente untereinander geschieht nicht durch Lötung, sondern durch einen Hartbleikeil, welcher in eine vierkantige Öffnung einer Fassung aus Hartblei eingetrieben wird und hier die durch diese Öffnung gesteckten Polfahnen der

Platten aneinanderpresst, vergl. Fig. 331. Durch diese Verbindungsweise ist der ungeübteste Arbeiter imstande, den Ein- und Ausbau eines Wagens in einem halben Arbeitstage auszuführen, wodurch die Reparatur- und Reinigungskosten der Batterien ausserordentlich vermindert werden.

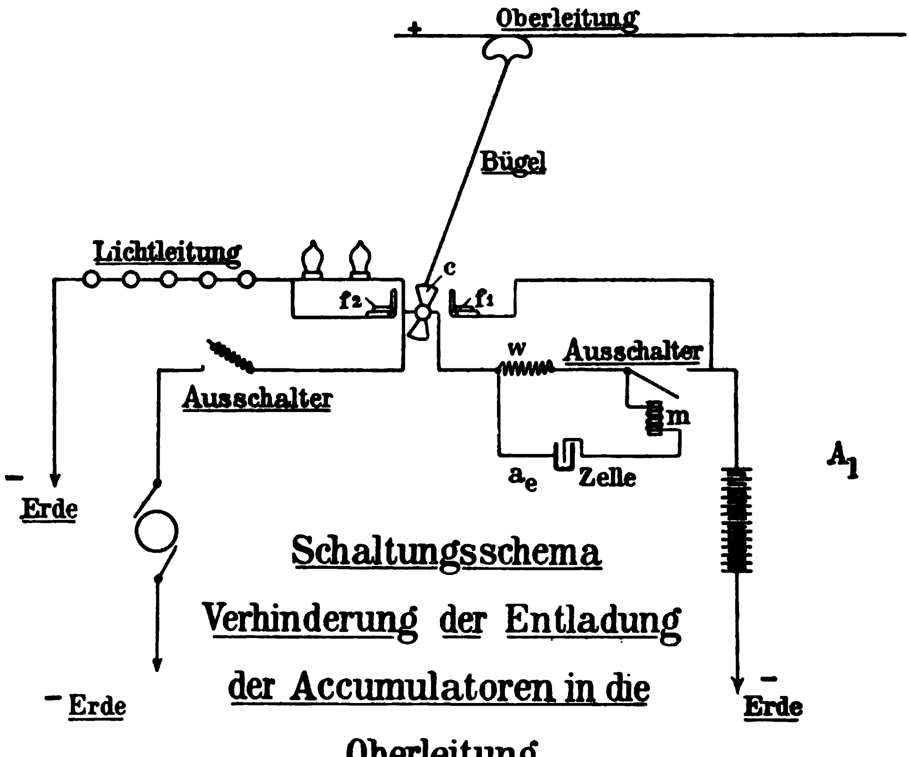


Fig. 346.

In Fig. 346 ist die hier angewandte Schaltungsweise (D. R. P.), durch welche eine zu starke Ladung der Akkumulatoren sowohl wie eine Entladung derselben in die Oberleitung automatisch verhindert wird, dargestellt. Ersteres ist für die Haltbarkeit der Akkumulatoren, letzteres namentlich da von Wert, wo die Stromlieferung und der Verbrauch in wirtschaftlich von einander getrennten Händen liegen. Im Prinzip beruht die Wirksamkeit des Apparates in den Polarisations-Erscheinungen derjenigen galvanischen Zellen, in denen eine Elektrode aus Aluminium besteht.

In der schematischen Darstellung ist c ein an dem Stromabnehmer befestigtes segmentförmiges Kontaktstück, welches beim Herniederziehen des Stromabnehmers mit den Kontaktfedern f_1 und f_2 Schluss bildet, W ein Widerstand, welchen der Strom bei der Ladung der Akkumulatoren aus der Oberleitung passieren muss, m die Nebenschluss-Magneterregung des automatischen Ausschalters, a_e die Aluminiumzelle, welche hintereinander mit der Nebenschlussspule an die beiden Endpole des Widerstandes w gelegt ist, also gewissermassen zu diesem im Nebenschluss liegt. Die Aluminiumzelle ist derartig in den Nebenschluss gelegt, dass bei der Ladung der Akkumulatoren aus der Oberleitung in derselben eine starke Polarisation auftritt, welche eine Erregung des Nebenschluss-Magneten m verhindert. Dreht sich jetzt die Stromrichtung um, d. h. haben die Akkumulatoren das Bestreben, sich in die Oberleitung zu entladen, so verschwindet die Polarisation in der Zelle a_e, ein grosser Teil des Stromes, welcher durch den Widerstand w fliesst, wird auch durch den Nebenschluss gehen und infolgedessen den Magnetausschalter zum Ausschalten bringen.

Der Widerstand w ist so bemessen, dass bei zu starker Ladestromstärke die an den Enden desselben auftretende Potential-Differenz den Wert der durch die Polarisation der Zelle a_e entstehenden Potential-Differenz überschreitet und infolgedessen auch bei zu hoher Ladestromstärke der Magnetausschalter in Thätigkeit gesetzt wird.

Bei der Fahrt mit Akkumulatoren muss der Stromabnehmer herabgezogen werden; hierdurch wird mittels des Kontaktstückes c und den Kontaktfedern f_1 und f_2 der den Lampen vorgeschaltete Ladewiderstand und der Magnetausschalter für die Akkumulatoren kurz geschlossen; die Lichtleitung wird ebenso wie die Motoren ohne einen zwischengeschalteten Widerstand direkt mittels Akkumulatorenstrom gespeist. Durch Abgleichung des Widerstandes w und des Widerstandes der Nebenschluss-Magnetspule m sowie des Polarisationswertes der Zelle a_e hat man es in der Hand, die Höhe der Entladungs-Stromstärke in die Oberleitung, bei welcher eine Ausschaltung zu geschehen hat, mit grösster Sicherheit festzustellen. Die Aluminiumzelle kann, da die Art und Weise der Ausschaltung gewissermassen mit einer Nullmethode zu vergleichen ist, von sehr kleinen Dimensionen sein, da dieselbe nur bei Stromumkehr von Strom durchflossen wird, dann aber auch nur auf einen kurzen Zeitintervall, weil in diesem Falle sofort die Ausschaltung stattfindet. Die Haltbarkeit der Aluminiumzelle ist deshalb eine unbeschränkte.

Wenn, wie in Dresden, die Länge der Ladestrecke so eingerichtet ist, dass ein Vollladen der Batterie durch die Oberleitung sich ganz

selbstthätig vollzieht, so kann die Batterie ständig eingeschaltet bleiben. Wäre indess die Ladestrecke zu lang, so müsste die Batterie an einem geeigneten Punkte abgeschaltet werden.

Die Haltbarkeit der Wagenbatterie ist von einer sorgfältigen Überwachung derselben abhängig; jedes Element, welches etwa in seiner Kapazität nachgelassen oder Kurzschluss bekommen hat, wird herausgenommen und durch ein anderes ersetzt. Das beschädigte Element wird dann in der Werkstatt gesondert behandelt und kann in den meisten Fällen dem Betriebe wieder eingereiht werden.

Das Nachfüllen der Schwefelsäure und die Stärke der Säurelösung richtet sich nach der vergrösserten oder verminderten Beanspruchung der einzelnen Platten, genau so wie beim stationären Betriebe.

Die Reinigung bezw. das Auswaschen der Batterien erfolgt in der Weise, dass die Schwefelsäure aus den Zellen entfernt wird, die Kästen, Platten u. s. w. mit Wasser abgespritzt werden und der Bodensatz abgefallener Masse aus dem Kasten herausgeholt wird. Dies alles kann bei geeigneten Vorrichtungen so geschehen, dass die Bleiplatten nicht auseinandergelötet zu werden brauchen. Über die hierbei verwendeten Vorrichtungen und Methoden s. Taschenbuch für Monteure elektrischer Strassenbahnen, Oskar Leiner, Leipzig.

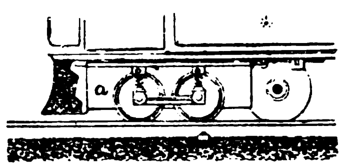


Fig. 347.

Die im Jahre 1899 in Berlin und Halle eingerichteten gemischten Akkumulatorenbetriebe sind den oben beschriebenen Anlagen ähnlich.

Als eine Abart des gemischten Betriebes können die Anfahr-Akkumulatoren angesehen werden. Es ist bekannt, dass die Geschwindigkeit der Wagenmotoren sowohl beim Anfahren als auch bei der Fahrt zumeist durch Vorschaltwiderstände, in denen ein Teil der Energie nutzlos in Wärme umgewandelt wird, reguliert wird. Um dies zu vermeiden, hat man versucht, die Akkumulatoren als Vorschaltwiderstände zu schalten und erhält dabei noch eine Energieaufspeicherung als nutzbares Nebenprodukt. Den hierdurch verfügbaren Strom kann man benutzen zur Beleuchtung des Wagens, zum Bethätigen elektromagnetischer Stillstandbremsen und dergleichen. Die Batterien für diesen Zweck können wesentlich leichter gemacht werden, da sie nicht für die volle Betriebsspannung, sondern für $^1/_2$ bis $^1/_3$ der Spannung hergestellt zu werden brauchen.

Erst mit der Entwickelung der Akkumulatorentechnik konnte dieser Gedanke einer Verwirklichung entgegengeführt werden und es

werden sich, nachdem die konstruktiven Bedingungen hierfür erfüllbar geworden sind, auch weitere Anwendungsgebiete für dieses System finden lassen. Zur Zeit sind grössere Ausführungen bei uns nicht zu verzeichnen.

Ein von **Pollak** angegebenes Verfahren, Leitungsbetrieb mit Akkumulatorenbetrieb zu verbinden, besteht nach seinem D. R. P. 92097 darin, dass die Akkumulatoren in einem besonderen kleinen Wagen a untergebracht sind, der unter den Personenwagen leicht hinuntergeschoben werden kann und mit ihm federnd verbunden wird wie Fig. 347 dies zeigt.

d) Akkumulatoren-Lokomotiven und -Tender.

Für diese gelten dieselben Bedingungen wie für die reinen Akkumulatorenbetriebe. Wenn die Betriebsverhältnisse es gestatten, besondere Akkumulatorenlokomotiven oder Akkumulatorentender zu verwenden, so ist diese Betriebsart derjenigen mit Wagenbatterien vorzuziehen, weil man alsdann die Batterien in den für Fahrgäste bestimmten Fahrzeuge entbehren kann.

Akkumulatorenlokomotiven finden hauptsächlich Anwendung für Rangierdienste auf Klein- und Grossbahnen und sei dieserhalb auf den II. Teil dieses Werkes hingewiesen.

Akkumulatorentender finden selten Anwendung. Die vorstehende Fig. 347 zeigt eine derartige Ausführung.

Wenn man vor die Aufgabe gestellt ist, Akkumulatorenfahrzeuge als Motorwagen, Tender und Lokomotiven zu entwerfen, werden die nachfolgenden Berechnungen gute Dienste leisten.

Es bedeutet:

C = Kapazität des Akkumulators in Amperestunden.
a = Entladezeit des Akkumulators in Stunden.
Q = Gewicht des Gesamtzuges bezw. Wagens in Tonnen (einschliesslich Lokomotive, ausschliesslich Akkumulatoren).
n = Anzahl der Akkumulatorenzellen.
P = Gewicht einer Akkumulatorenzelle in *kg* (einschliesslich Zubehör).
w = Bahnwiderstand in *kg* für die *t* (Zugkraft für die *t*).
V = Geschwindigkeit in *km* in der Stunde.
v = Geschwindigkeit in *m* in der Sekunde $= \frac{V}{3,6}$.
e = Entladespannung des Akkumulators.

$$\alpha = \frac{\text{Nutzarbeit der Lokomotive u. s. w.}}{\text{Arbeit der Akkumulatoren.}}$$

L = Leistung der Lokomotive, bezw. des Motorwagens in PS einschliesslich Verlust durch Übertragungsmechanismus und elektrischen Widerstand.

e · C = Gesamtleistung einer Zelle in V-A-St (Kapazität).

$\frac{e \cdot C}{a}$ = sekundliche Leistung einer Zelle in V-A.

$\frac{e \cdot C}{a \cdot 736}$ = Leistung einer Zelle in PS.

$\frac{e \cdot C \cdot 75}{a \cdot 736}$ = Leistung einer Zelle in *mkg* in der Sekunde.

$$\frac{75 \cdot n \cdot \alpha \cdot e \cdot C}{736 \cdot a} = \left(Q + \frac{n \cdot P}{1000}\right) w \cdot v.$$

$$Q \cdot w \cdot v = n \left(\frac{\alpha \cdot e \cdot C \cdot 75}{a \cdot 736} - \frac{P \cdot w \cdot v}{1000}\right).$$

$$n = \frac{Q \cdot w \cdot v}{\frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a} \cdot \frac{75}{736} - \frac{P \cdot w \cdot v}{1000}} = \frac{Q}{\frac{75}{736} \cdot \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot w \cdot v} - \frac{P}{1000}}.$$

$$n = \frac{Q}{0{,}102 \cdot \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot w \cdot v} - \frac{P}{1000}}.$$

Akkumulatorenbetrieb ist unmöglich, wenn

$$0{,}102 \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w} \leqq \frac{P}{1000} \text{ ist.}$$

$$L = \left(Q + \frac{n \cdot P}{1000}\right) w \cdot v \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{\alpha}$$

$$= Q \left(1 + \frac{P}{1000} \cdot \frac{1}{0{,}102 \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w} - \frac{P}{1000}}\right) w \cdot v \cdot \frac{1}{75\alpha}$$

$$= \frac{Q \cdot v \cdot w}{75\alpha} \left(1 + \frac{P}{1000 \cdot 0{,}102 \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w} - \frac{1000\,P}{1000}}\right)$$

$$= \frac{Q \cdot v \cdot w}{75\alpha} \left(1 + \frac{1}{102 \cdot \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w \cdot P} - 1}\right).$$

II. Kritische Betrachtungen der üblichen Stromzuführungssysteme.

Ehe das Kapitel III »Stromfortleitung« geschlossen wird, möge ein technischer, wirtschaftlicher und ästhetischer Vergleich der vorhergenannten verschiedenen Betriebsarten Platz finden.

Man hört oft die Frage aufwerfen, welches der drei in Betracht kommenden Stromzuführungssysteme:

1. Oberleitung,
2. Unterleitung,
3. Akkumulatoren,

die technisch und wirtschaftlich beste Lösung in jedem Falle und für jede in Betracht kommende Stadt ermöglicht.

Die Beantwortung dieser Frage ist nach drei Seiten zu führen und zwar:

1. nach der technischen,
2. nach der wirtschaftlichen und
3. nach der ästhetischen.

Die technische Frage spielt bei den Strassenbahnen, und um diese handelt es sich hier ausschliesslich, keine entscheidende Rolle, da die technische Lösung, wie wir gesehen haben, immer eine vollkommene sein kann.

Die Thatsache ist nicht zu leugnen, dass es an manchen Stellen einer Grossstadt zum mindesten wünschenswert ist, das von vornherein als das billigste zu kennzeichnende oberirdische Stromzuführungssystem, Oberleitung genannt, zu vermeiden. Einmal, weil in der Strasse bereits genügend andere Leitungen, zumeist Schwachstromleitungen existieren, welche durch eine Fahrdrahtleitung der Bahn gefährdet werden könnten und welche zugleich im Gefolge haben, dass das einfache Fahrdrahtnetz der Bahnanlage durch die sehr komplizierten, dicht über dem Fahrdrahtnetz befindlichen und leider auch selten wirksamen, viele weitere Drähte erforderlich machenden Schutznetze für die Schwachstromleitung ein ungewöhnliches und bisweilen sogar unästhetisches Bild bietet, zum anderen, weil die betreffenden Strassen zu eng und zu belebt sind, um eine weitere Einengung durch Luftdrähte und Masten nicht mehr aufnehmen zu können. (Brandfälle in der Strasse, Fahnenschmuck bei festlichen Gelegenheiten, Fest-Aufzüge.) Das Aufhängen eines Tragwerkes an Hausrosetten hat mitunter auch seine Schwierigkeiten, wenn z. B. in alten Städten die Häuser zu schwach sind, um Rosetten an ihren Mauern haltbar und schallsicher zu befestigen. Die meisten Stadtväter sind dazu noch von ästhetischen Gefühlen getragen und hegen

den Wunsch, fördernd oder hindernd thätig zu sein, wenn es sich darum handelt, elektrische Bahnen in ihrer Stadt zu genehmigen. Die »Schrecken« vor einer Oberleitung existieren jedoch nur vor deren Dasein. Die Erfahrung hat uns gelehrt, dass ehemalige Gegner der Oberleitung mit den Fortschritten des Baues einer solchen sich vermindern, dann beim Betriebe vollständig verschwinden und zu Freunden derselben sich schliesslich umwandeln. Das Auge gewöhnt sich auch an vermeintlich Unschönes und findet etwas Hässliches schliesslich hübsch. Es kommt zudem sehr darauf an, wie eine Oberleitung montiert und unterhalten wird und darf man hierbei nicht den Stab über alle brechen. In der Dekoration der Maste, an der Spannung der Drähte, in der Ausbildung der in der Luft hängenden Isolatoren und Verbindungsstücke und dergl. kann dem Auge immerhin etwas Gefälliges, etwas Angenehmes geboten werden.

Für die wirtschaftliche Anlage einer Strassenbahn giebt es in der Grossstadt auf die aufgeworfene Frage nur diese Antwort, dass das oberirdische Stromzuführungssystem das im Bau und Betriebe billigste und einfachste System ist und bleiben wird. Es giebt nur einen einzigen Fall, in welchem ein Akkumulatorenbetrieb für eine bestimmte Strecke wirtschaftlich günstiger wirken wird, jedoch zählt dieser Fall bei Strassenbahnen zu den Ausnahmen. Wenn z. B. eine nach einem Vorort auslaufende Linie nur so spärlich betrieben wird, dass die Zins-, Amortisations- und Unterhaltungsquote für die oberirdische Stromzuführungsanlage den Betrag überschreitet, welcher die Verzinsung, Amortisation und Unterhaltung einer oder weniger Wagenbatterien ausmacht, und wenn zugleich der durch Akkumulatorenbetrieb erforderliche grössere Stromverbrauch hierdurch aufgewogen wird, kann sich der Akkumulatorenbetrieb wirtschaftlich billiger gestalten.

Im allgemeinen haben wir uns also vom wirtschaftlichen und technisch günstigsten Standpunkte aus mit dem oberirdischen Stromzuführungssystem zu befassen. Es kann hierbei nicht unerwähnt bleiben, dass es durch die fortgeschrittene Technik der letzten Jahre möglich geworden ist, ein oberirdisches Stromzuführungsnetz dann eleganter herzustellen, wenn der Einfluss des Elektrotechnikers auf den Bahnbau selbst und vor Allem auf das Legen der Gleise, Kurven, Kreuzungen und Weichen beim Bau massgebend ist. Wenn zu dem kommt, dass zum Schutze der Schwachstromleitung, welche ja bekanntlich in der Stadt zumeist dieselben Wege und Strassen benutzt, wie der durch den Verkehr gekennzeichnete Strassenzug der Bahnen, dicht über dem Fahrdrahte schwerfällige Drahtnetzschutz-Vorrichtungen nicht getroffen zu werden brauchen, so gewinnt das Bild einer oberirdischen Stromzuführungsanlage und kann nicht mehr

als unästhetisch bezeichnet werden. Hinter dem Gefühl des ästhetischen Menschen muss heutzutage auch das Gefühl des Kaufmanns und Verkehrspraktikers zur Geltung gelangen, wie es das Grossstadtleben von vornherein auch für andere Gesichtspunkte verlangt. Da wir Techniker aber nur mit dem Umstande zu rechnen haben, dass dem ästhetischen Gefühl der Besteller oder der Konzessionäre der Vorrang zu überlassen ist, so müssen wir uns wohl oder übel mit der Frage befassen, was von den beiden anderen Systemen, die an ästhetischem Aussehen nichts zu wünschen übrig lassen, von Fall zu Fall das Bessere und Richtigere ist.

Das ältere der beiden »ästhetischen Systeme« ist das der im Jahre 1889 in Budapest erstmalig zur Ausführung gelangten Unterleitung, welches in Amerika mehrfach Nachahmung und weitere Ausbildung zunächst beim Umbau der Kabelbahnen fand. Die eigenartigen Verhältnisse in Budapest bestimmten s. Z. zum Bau einer ebenfalls eigenartigen Stromzuführung, die einen unbestreitbaren Erfolg aufzuweisen hat.

Der Akkumulatorenbetrieb ist erst durch den Wettstreit zwischen oberirdisch und unterirdisch, zwischen sichtbarer und unsichtbarer Stromzuführung zu einiger Bedeutung und Vervollkommnung gelangt.

In Budapest, Berlin, Dresden und Düsseldorf, d. h. in den Orten, in denen man Unterleitung bisher geschaffen hat und in weiteren Grossstädten, in denen man mit dem Bau von Unterleitungen vorzugehen gedenkt, sind die Terrain- und Kanalisationsverhältnisse für Anlagen von Unterleitungen günstig. Die Grösse des Kanals bedingt natürlich die Hauptkosten bei der Anlage, erreicht jedoch im Betriebe mit steigendem Querschnitte fallende Betriebskosten. Die unterirdische Leitung in Berlin wird z. B. täglich nur einmal mit einer Profilschaufel durchgestossen, im Winter genügt ein zwei- bis dreimaliges Durchgehen der Strecke. In Berlin ist etwa für 2,5 *km* Kanal nur ein Streckenwärter zur Reinigung erforderlich.

In Budapest rechnet man für 1 *km* doppelgleisige Strecke einen Wärter, um den Kanal vollständig sauber zu erhalten. Winter mit grösseren Schneefällen als bei uns sind dort keineswegs eine Seltenheit, somit können die dortigen Betriebsverhältnisse für uns ebenfalls massgebend sein,

In der nachfolgenden Rentabilitätsberechnung seien die Erneuerungs-, Unterhaltungs- und Reinigungskosten der Unterleitung mit 3% des Anlagekapitals angenommen, da dieser Satz den praktischen Betrieben sehr gut entspricht. Die Unterhaltungskosten für die Unterleitungs-Stromabnehmer sind nicht kleiner und nicht grösser

als für die Wagenkontakte bei der Oberleitung. In Berlin versorgen zwei Mann in der Werkstatt die Erneuerung und Auswechselung der Stromabnehmer an 17 ständig im Betriebe befindlichen Wagen. Ist die Konstruktion des Stromabnehmers billig und einfach, dann können die Betriebskosten desselben auch äusserst gering gehalten werden. Die Stromleiterschienen, einmal montiert, werden durch den Wagenkontakt in keiner Weise beeinflusst, sodass an diesen eine Reparatur schon ihrer grossen Standhaftigkeit wegen nicht zu erwarten ist.

Die Abführungen in die Kanalisation bedürfen keiner weiteren Wartung, als die gewöhnlichen Abfallschächte in den Strassen.

Als eine unangenehme Zugabe beim Akkumulatorenbetrieb ist das Auswaschen der Batterie in bestimmten Betriebsintervallen zu betrachten. Ebenso ist das Aufladen der Batterie alle vier Wochen mit einer besonderen Maschine oder Schaltungen notwendig machenden höheren Spannung eine Verminderung der Betriebseinfachheit. In Kopenhagen hat es sich als notwendig erwiesen, die Batterie jeden zweiten Tag aufzuladen. Diesem letzteren steht bei der Unterleitung eine Komplikation darin gegenüber, dass es bei der Vereinigung einer üblichen einpolig isolierten Oberleitung mit einer zweipolig isolierten Unterleitung erforderlich ist, die Unterleitung durch eine besondere Stromquelle und durch besondere Kabel zu speisen, damit, wie bereits erwähnt, die Vorteile der Unterleitung vollständig zur Geltung kommen. Arbeitet hierfür ein gesondertes Maschinen-Aggregat, so braucht man mit dem Nutzeffekt etwaiger Transformation hierbei nicht zu rechnen.

Sofern die hohe spezifische Beanspruchung der Akkumulatorenplatten auf die Dauerhaftigkeit derselben ohne schädigenden Einfluss bleibt, kann der Akkumulatorenbetrieb mit dem der Unterleitung in Wettbewerb treten, wenn es sich darum handelt, in dem innersten Teil einer Grossstadt ein Fahrdrahtnetz zu vermeiden. In den allermeisten Fällen wird aber die Einfügung einer kurzen unterirdischen Strecke in ein ausgedehntes Oberleitungsnetz in wirtschaftlicher Beziehung siegreich aus dem Wettbewerb mit diesem Akkumulatorenbetrieb hervorgehen können. Aus sehr eingehenden Versuchen des Dr. E. Sieg von der Firma Akkumulatorenfabrik Gottfried Hagen, Köln a. Rh., geht hervor, dass auf längeren 2%igen Steigungen Akkumulatorenbetrieb in jeder Form schon höchst unwirtschaftlich ist. Wir betrachten daher hier nur die Flachbahnen und bleiben dabei des Vorsprungs eingedenk, den der Unterleitungsbetrieb in welligem Terrain hierin besitzt.

Die Hauptfrage bei jedem der Akkumulatorenbetriebe ist die der Akkumulatorenplatten- und Fahrschienenhaltbarkeit, sowie ferner der

Nutzeffekt in der Stromzuführung bezw. in der Energieumsetzung. Das mindestens um 2 Tonnen erhöhte Gewicht eines Wagens erfordert entsprechend starken Oberbau und noch sorgfältigere Bettung der Schienen. Der Nutzeffekt, bedingt durch den Verlust bei Ladung und Entladung der Akkumulatoren, fällt dann bedeutend ins Gewicht, wenn die Stromkosten hoch sind, d. h. wenn die Bahnanlage den Strom von anderen Werken beziehen muss, also nicht selbst Produzent für ihren Betriebsstrom sein darf. Dieser Umstand ist sehr wohl geeignet, für das zu wählende System der Strassenbahn bestimmend zu sein. Man vergesse hierbei nicht, dass bei Selbsterzeugung in Hannover die Stromkosten für die Kilowattstunde 5 Pf. betragen, einschl. aller Verzinsung, Amortisation und Verwaltungskosten der stationären Anlage. Berlin fordert vom Bahnunternehmer 9—10 Pf. für die Kilowattstunde und setzt bei dem geringeren Preise eine bedeutende Stromentnahme voraus; in Dresden zahlten die Gesellschaften anfangs 13,5 Pf. für die Kilowattstunde an das städtische Elektrizitätswerk. Man sieht also, dass sich die Stromkosten wie 1 : 2 verhalten können.

Aus der Thatsache, dass auf den Budapester Linien mit ihrem äusserst starken Verkehr bei eigener Stromerzeugung der unterirdische Betrieb gegenüber dem etwa in Vergleich zu stellenden Akkumulatorenbetrieb wesentlich günstiger arbeitet, geht hervor, dass von Fall zu Fall die Verhältnisse studiert und der wirtschaftlich günstigste Betrieb herausgerechnet werden muss, ehe man sich dazu entschliesst, Unterleitungs- oder Akkumulatorenbetrieb im grossen Stile zur Anwendung zu bringen. Unzweifelhaft besitzen beide Betriebe ihre Vorzüge und Nachteile, und diese abzuwägen, kann wohl durch Schemata erleichtert werden, nicht aber ohne eingehende Studien des in alle Verhältnisse eingeweihten Betriebstechnikers, nicht ohne genaue Kenntnis der Örtlichkeiten und ohne Rücksichtnahme auf die Gewohnheiten der Anwohner zum endgültigen Abschluss gebracht werden.

Bei allen zum Vergleich heranziehbaren Bahnen kann nur zweigleisiger Betrieb mit grösster Wagenfolge von 10 Minuten in Betracht kommen. Da jedoch mehrere Linien auf den fraglichen Stellen übereinandergreifen können, muss die Rechnung bis auf 1 Minute Wagenfolge durchgeführt werden.

1 Minute bedeutet einen Wagenabstand von 200 *m*, welcher z. B. in der Leipziger Strasse zu Berlin eintritt, weil sehr viele Linien über dieselbe geführt werden, die auf ihren Aussenstrecken eine Wagenfolge von 5 bis 10 Minuten besitzen.

Die Schienen seien für alle Systeme gleich stark angenommen, da dieselben dem übrigen Lastenverkehr, der mit Vorliebe die Gleise

benutzt, angepasst werden müssen, und da für Akkumulatorenbetrieb zweckmässig 3- oder 4achsige Wagen Verwendung finden müssen, wenn die auf das Gleis bezogenen Verhältnisse für beide Betriebsarten vergleichbar bleiben sollen. Durch die Mehrkosten der Akkumulatorenwagen kommen die gleichen Verhältnisse gegenüber den leichteren Betriebsmitteln zum Ausdruck. Die Kosten für Gleise und Gleisarbeiten können, da nunmehr für alle drei Betriebsarten einander gleichwertig, für den Vergleich ausser Betracht bleiben.

Als Normalbatteriegewicht sei 2000 *kg* für jeden Wagen angenommen. Diese Batterien genügen mit ihrer Kapazität dem Streckenbetriebe bis zu 10 *km* Rundfahrt, sie müssen der Anfahrstromstärken wegen so gross sein, müssen im stande sein, einen gleich grossen defekt gewordenen Wagen ins Depot befördern zu können, ohne dabei übermässige Entladungen zu gewärtigen und müssen schliesslich bei ungünstigen Witterungsverhältnissen, z. B. bei Schneewehen und Eisbildungen auf den Schienen, eine genügende Betriebsreserve mit sich führen.

Für gemischten Betrieb darf die Batterie aus den gleichen Gründen nicht kleiner sein, sodass sich dieselben Verhältnisse auf den gemischten Akkumulatorenbetrieb übertragen lassen. Zu dem Batteriegewicht ist ferner noch ein Mehrgewicht von mindestens 1000 *kg* für Verstärkung des Wagens bezw. für die mehrachsige Wagenkonstruktion zur Erreichung eines spezifisch gleichen Achsdruckes zu rechnen.

Die Kosten für die Kraftstation seien ebenfalls überall gleich gesetzt, da der Betrag, der bei den Akkumulatoren eine grössere Kraftstation erfordert, ausgeglichen werden soll durch die geringeren Leitungsverlustė, durch die gleichmässige Beanspruchung beim Laden der Batterien und durch die Möglichkeit, die Kraftstation des Nachts durch Aufladen und Vollladen ausnutzen zu können. Bei den Wagen ist angenommen, dass die Akkumulatorenwagen drei oder vier Achsen, sowie 25% stärkere Motoren besitzen, da entsprechend der gleichen Ladefähigkeit ein um 25 % grösseres Gewicht, verursacht durch die Akkumulatoren, mitbewegt werden muss, und dass in dem höheren Wagenpreise zugleich die Batterie und die Mehrapparate enthalten sind.

Die Kosten für den oberirdischen Stromabnehmer können gleich den Kosten des unterirdischen mit all' seinen Bethätigungsmechanismen angenommen werden, da der thatsächliche Preisunterschied im Verhältnis zum Gesamtwagenpreis unbedeutend ist.

Wird eine Geschwindigkeit von 12 *km*/Stunde zu Grunde gelegt so folgen sich die Wagen bei

10	Minutenbetrieb	in	2000 *m*	Entfernung,
5	»	»	1000 »	»
$2^1/_2$	»	»	500 »	»
1	»	»	200 »	»

Hierbei ist in Betracht zu ziehen, dass die Reservebetriebsmittel bei Unterleitung und Oberleitung in geringerer Anzahl vorhanden sein können als beim Akkumulatorenbetrieb, wo ausser den Wageneinrichtungen auch die Batterien reparaturbedürftig sind.

Es sind mithin für den Betrieb einer 1 *km* langen Strecke für Hin- und Rückfahrt einschl. 20 % Wagenreserve für direkte Stromzuleitung (Oberleitung, Unterleitung), und einschl. 30 % Wagenreserve für Akkumulatorenbetrieb erforderlich:

Für direkte Stromzuleitung:

bei 10 Minuten	$2 \times 0{,}5 \times 1{,}2 =$	1,2	Wagen,
» 5 »	$2 \times 1{,}0 \times 1{,}2 =$	2,4	»
» $2^1/_2$ »	$2 \times 2{,}0 \times 1{,}2 =$	4,8	»
» 1 »	$2 \times 5{,}0 \times 1{,}2 =$	12,0	»

Für indirekte Stromzuleitung (Akkumulatorenbetrieb):

bei 10 Minuten	$2 \times 0{,}5 \times 1{,}3 =$	1,3	Wagen,
» 5 »	$2 \times 1{,}0 \times 1{,}3 =$	2,6	»
» $2^1/_2$ »	$2 \times 2{,}0 \times 1{,}3 =$	5,2	»
» 1 »	$2 \times 5{,}0 \times 1{,}3 =$	13,0	»

Beim Vergleich der Betriebskosten ist angenommen, dass für 1 *tkm* in der Ebene 50 Wattstunden zur Fortbewegung gebraucht werden, und es ist dabei vorausgesetzt, dass die denkbar günstigsten Wagenschaltungen vorgesehen sind. Akkumulatoren können durch geeignetes Parallel- und Hintereinanderschalten der einzelnen Zellengruppen geschaltet werden. Bei direkter Stromzuführung kann man durch eine gleiche Schaltungsweise der einzelnen Windungsgruppen die Magnetwickelungen (Sprague'sche Schaltung) ohne besondere Wärmeverluste in gleich wirtschaftlicher Weise benutzen. Bei Anwendung von zwei Motoren im Wagen können ausser den Magnetwicklungen auch die beiden Anker vor- und nebeneinander geschaltet werden.

Der Nutzeffekt der Akkumulatoren kann mit höchstens 70 % in Rechnung gestellt werden, der Nutzeffekt der oberirdischen Leitungen mit 95 % und der der Unterleitung, bei der 1 % Stromverlust in den Fahrleitungen konstatiert worden sein soll, mit 94 %. Wenn die Wagen für direkte Leitung mit 8 *t* Volllast eingesetzt werden, so werden die Akkumulatorenwagen bei gleichem Personenfassungsraum

11 *t* wiegen, wobei neben dem grösseren Wagengewicht auch das grössere Motorengewicht berücksichtigt ist.

Auf 1 *km* Bahnlinie können mit einer Wagenfolge von 10 Minuten bei 16 Stunden Tagesdienst täglich $16 \cdot 6 \cdot 2 = 192$ Wagenkilometer und im Jahre $365 \cdot 192 = \sim 70\,000$ Wagenkilometer geleistet werden, dies entspricht bei

		8 *t*-Wagen	11 *t*-Wagen
10 Min.-Betrieb	70 000 *Wgkm*	560 000 *tkm*	770 000 *tkm*
5 »	140 000 »	1 120 000 »	1 540 000 »
$2^1/_2$ »	280 000 »	2 240 000 »	3 080 000 »
1 »	700 000 »	5 600 000 »	7 700 000 »

Der kw/St-Preis sei mit 6 Pf., 10 Pf. und 13,5 Pf. eingesetzt, wobei also der denkbar billigste mit dem mittleren und dem denkbar teuersten verglichen wird. Durch Entnahme des Stromes aus einem bestehenden grösseren Elektrizitätswerke entfällt der Einwand, dass Akkumulatoren eine ruhigere Stromentnahme bewirken, wodurch die stationären Maschinen günstiger beansprucht werden sollen.

Die Verzinsungs- und Amortisationsquoten des Anlagekapitals sollen bei sämtlichen Anlagen mit je 5 % eingesetzt werden, zusammen also mit 10 %. Dieser Prozentsatz entspricht einer Kapitalstilgung innerhalb 14 Jahren und erscheint vielleicht etwas hoch. Da jedoch ein geringerer Satz im Endresultat keine grosse Änderung bewirkt und da es ferner hierbei mehr auf das gegenseitige Verhältnis der Zahlen ankommt, als auf die absolute Höhe derselben, so mögen die gewählten 10 % der einfachen Übersicht und Rechnung halber hier Platz finden.

Für Unterhaltung und Rücklagen der zweigleisigen oberirdischen Stromzuführung kann 1000 M/*km* Doppelgleis gerechnet werden, was 4 % des Anlagekapitals von 25 000 M/*km* ausmacht. Bei billigeren Oberleitungsanlagen, bei denen z. B. die Masten und Mastendekorationen einfacher sind, stellt sich dieser Prozentsatz auf 5 % des Anlagekapitals und kann im allersparsamsten Bau sogar bis auf 6 % steigen, sodass die Unterhaltungs- und Erneuerungskosten mit der gewählten runden Summe immer einen passenden Wert ergeben. Hierbei ist es natürlich gleichgültig, ob 1 oder 10 Minuten-Verkehr unter der Oberleitung stattfindet.

Für Unterhaltung und Rücklagen der Unterleitung sind 2700 M/*km* doppelgleisige Anlagen, gleich 3 % des Anlagekapitals vorzusehen, da die Reinigung des Kanals und der Isolatoren, sowie der Weichen und Kreuzungen hierbei die Hauptrolle spielt, wohingegen an dem stabilen Bau des Kanals und der Leitungsschienen kaum eine Reparatur erforderlich wird. Auch hier ist es ebenfalls gleichgültig,

ob viel oder wenig Kilometer im Jahr gefahren werden. Dieser Betrag genügt erfahrungsgemäss und sind von den bauenden Firmen Garantien hierfür zu erreichen. Natürlich bleiben hiervon die Kosten für Entfernung des Kanals etc. bei Schleussenbauten der Stadt ausgeschlossen. Derartige Beträge fallen alsdann den Strassenbauten zur Last.

Für die Unterhaltung und Rücklagen der Akkumulatorenbatterien sind vor allem die gefahrenen Wagenkilometer massgebend. Man rechnet, dass ein Wagen im Jahre nach Abzug der Reparatur- und Reservedienstage 300 Tage in Bewegung ist und alsdann mindestens 40 000 Wagenkilometer leisten kann. Die reinen Kosten für Unterhaltung der Batterien können durchschnittlich mit 3 Pf. für das Wagenkilometer angenommen werden. Dieser Kilometerpreis bezieht sich jedoch nur auf diejenige Strecke, in der die Batterie entladen wird, d. h. in denen der Wagen automobil fährt. Ausserdem ist ein feststehender Satz von 400 M/Jahr für jede Batterie zu zahlen, welche sich natürlich auf sämtliche Wagenkilometer verteilen, d. h. also 1 Pf. für das Wagenkilometer. Somit kostet ein Wagenkilometer

in der Ladestrecke . . . . 1 Pf.
in der Entladestrecke . . . $3 + 1 = 4$ Pf.

Wird die Batterie, wie beim reinen Akkumulatorenbetrieb während der Fahrt nur entladen, so ist eine Erhöhung dieses Satzes üblich.

Es werden somit auf ein Kilometer Bahnlänge

			auf der Ladestrecke	auf der Entladestrecke
bei 10 Min.-Betrieb	u.	1,3 Wagen	520 M.	2 080 M.
» 5 »	»	2,6 »	1 040 »	4 160 »
» 2½ »	»	5,2 »	2 080 »	8 320 »
» 1 »	»	13,0 »	5 200 »	20 800 »

Betriebskosten für die Batterie, d. h. Reparatur-, Unterhaltungs- und Erneuerungskosten, aufzuwenden sein.

Um das Bild zu vervollkommnen, ist es noch erforderlich, einen für sämtliche Betriebe gleichmässigen Betrag einzusetzen, der alle übrigen Posten an Betriebskosten enthält, damit nicht nur die Differenzen für die Wirtschaftlichkeit der drei Betriebsarten in Betracht kommen, sondern mit wirklichen Zahlen ein Finanzvergleich geschaffen wird. In diesem Betrage muss demnach enthalten sein: Zinsen, Amortisation und Unterhaltung der Gleise, Unterhaltung der Wagen, Gehälter, Löhne, Verwaltungskosten, gesetzliche Abgaben und Generalunkosten, während Zinsen, Amortisation und Unterhal-

tung der Kraftstation ausser Ansatz bleiben, da diese Posten im Strompreis bereits enthalten sind. Bis auf die Unterhaltungskosten der Wagen, die beim Akkumulatorenbetrieb entschieden höher sind als bei den beiden anderen Betrieben, können gleiche Beträge eingesetzt werden. Wenn man die Unterhaltungskosten der Stromabnehmer gleich den höheren Unterhaltungskosten der Akkumulatorenwagen setzt, so begeht man keinen sehr grossen Fehler. Je nach der Häufigkeit des Verkehrs sollen die Konstanten mit 12, 10, 8, 6 Pf. /Wgkm. angenommen werden. Natürlich sind diese Zahlen keine absoluten, jedoch genügen sie für das zu erhaltene Bild.

Es entspricht dies

bei 10	Min.-Betr.	70 000	Wgkm.	à	12	Pf.	=	8 400	M.
» 5	»	140 000	»	à	10	»	=	14 000	»
» $2^1/_2$	»	280 000	»	à	8	»	=	22 400	»
» 1	»	700 000	»	à	6	»	=	42 000	»

Über diejenigen Baukosten, welche beim Vergleich der drei Systeme Änderungen erfahren, seien noch die folgenden Angaben massgebend. Für eine zweigleisige Oberleitungsstrecke kostet das Stütz- und Tragwerk, sowie die Fahrleitungen in einer für grossstädtisches Gepräge passenden Ausführung einschliesslich der Kabelleitungen und der Schutzvorrichtungen für Schwachstromleitung durchschnittlich 25 000 *M/km.* In einfacherer Ausführung für Aussenstrecken genügen bereits 15—20 000 M., was aber hier unberücksichtigt bleiben soll, da der Wettbewerb zwischen Oberleitung und Unterleitung nur in solchen Strassen erfolgt, die eine elegantere Ausführung der Oberleitung erfordern würden. Die Unterleitung in der zu Berlin und Budapest getroffenen Ausführung kostet mit Erdarbeiten, Kanal und Fahrleitungen 90 000 M., bei schwierigen Anlagen mit vielen Weichen, Kreuzungen u. s. w. 100 000 M. für das Kilometer-Doppelgleis.

Ein Wagen für direkte Stromzuführung und mit einem Fassungsraum von 40 Personen soll mit 12 000 M., ein solcher für Akkumulatorenbetrieb mit drei oder vier Achsen zur gleichmässigen Druckverteilung und Schonung des Gleises, einschliesslich stärkerer Motoren und stärkerer mechanischer und elektrischer Bremsen, sowie einschliesslich einer Batterie von 2 *t*, soll mit 20 000 M. in Rechnung gestellt werden. Berücksichtigt man hierbei, dass der Akkumulatorenbetrieb grösserer Wagenhallen bedarf als die mit geringerer Reserve versehenen direkten Stromzuführungssysteme, so kann der Wagenpreis von 20 000 M. nicht zu hoch erscheinen.

Die sämtlichen bisher berechneten Werte sind aus der Tabelle auf Seite 360 und 361 zu ersehen.

Die kilometrischen Einheitspreise dieser Tabelle sind indess nur gültig, wenn es sich nicht um gemischte Betriebe handelt. Bei Betrachtung der zumeist herrschenden Verhältnisse muss man mit Kombinationen rechnen, um dem wirtschaftlichen und ästhetischen Bedürfnisse voll genügen zu können.

Bei unseren Annahmen ist immer vorausgesetzt worden, dass der reine Akkumulatorenbetrieb mit 2 *t* Batteriegewicht, die am Ende der Strecke während des Streckenaufenthaltes wieder aufgeladen werden können, anwendbar bleibt. Batterien mit Tagesleistung von 4—6 *t* Gewicht stellen sich wesentlich ungünstiger. So z. B. kostet die Wagenbatterie der Akkumulatorenbahn Charlottenburg-Berlin 14000 M. bei 6 *t* Eigengewicht, während der ganze Wagen 35000 M. kostet. Bei diesem Betriebe beträgt die Wagenreserve 33%. Solche Zahlen sind nicht mehr geeignet, in diese Tabelle eingereiht zu werden, denn sie bilden einen Ausnahmezustand, der durch die örtlichen Verhältnisse, d. h. durch die Nähe der physikalisch-technischen Reichsanstalt bedingt wurde.

Wesentlich anders stellt sich jedoch das Bild, wenn nicht der reine Betrieb jeder Gattung in Frage kommt, sondern der gemischte. Akkumulatoren und Unterleitung kommen niemals zusammen vor, dagegen kann Oberleitung mit Akkumulatoren, Oberleitung mit Unterleitung kombiniert werden.

Oberleitung und Unterleitung können direkt aus den Zahlen der Tabelle zusammengesetzt werden, wobei die geringen Mehrkosten der beiderlei Stromabnehmer ausser Betracht bleiben können.

Wird z. B. $^3/_4$ Strecke mit Oberleitung und $^1/_4$ mit Unterleitung betrieben, so werden sich die Kosten für das Wagenkilometer genau nach den obigen Zahlen teilen lassen. Wird Oberleitung mit Akkumulatoren gemischt, so sind die Kosten für die Fahrt unter der Ladestrecke mit den Kosten in der Ladestrecke zusammenzusetzen. Hierbei ist auf der Ladestrecke der reine Akkumulatorenbetrieb um diejenigen Stromkosten zu vermindern, welche dem Nutzeffekt der Akkumulatoren entsprechen, da während der Fahrt unter der Oberleitung nur der Mehrstrom für Beförderung des Akkumulatorengewichts zu berechnen ist, nicht aber der Verlust der Akkumulatoren zwischen Ladung und Entladung. Für die Ladestrecke ist selbstverständlich der Lade- und Betriebsstrom zusammen in der reinen Fahrdrahtspeiseleitung fortzuleiten, wodurch ein höherer Spannungsabfall eintreten muss. Dieser Verlust werde jedoch wieder durch die Stromregelmässigkeit der Ladestrecke ausgeglichen, sodass in der Tabelle unter Rubrik IV. nur ein 5%iger Energieverlust in der Zuleitung vorgesehen zu werden brauchte. Hinzuzurechnen sind als-

Betriebskosten einer 1 *km*

Versehen mit	I. Oberleitung		
Preis der Kw/St. in ₰	6 ₰	10 ₰	13,5 ₰
Wagenfolge 10 Minuten.			
10% Zinsen und Amortisation der Stromleitung . . .	2500	2500	2500
10 » » » » » Betriebsmittel . . .	1440	1440	1440
Unterhaltung und Rücklagen der Stromleitungen . . .	1000	1000	1000
» » » » Batterien	—	—	—
Stromkosten am Wagen	1680	2800	3780
Energieverlust der Leitungen bezw. der Batterien . .	90	140	190
Allgemeine Kosten, welche allen Betrieben gemeinsam sind, 12 ₰ /*km*	8400	8400	8400
Gesamtkosten bei 70000 Wgkm	15110	16280	17310
Kosten für 1 Wgkm in ₰	21,5	23,2	24,7
Wagenfolge 5 Minuten.			
10% Zinsen und Amortisation der Stromleitung . . .	2500	2500	2500
10 » » » » » Betriebsmittel . . .	2880	2880	2880
Unterhaltung und Rücklagen der Stromleitungen . . .	1000	1000	1000
» » » » Batterien	—	—	—
Stromkosten am Wagen	3360	5600	7560
Energieverlust der Leitungen bezw. der Batterien . .	170	280	390
Allgemeine Kosten, welche allen Betrieben gemeinsam sind, 10 ₰ /*km*	14000	14000	14000
Gesamtkosten bei 140000 Wgkm	23910	26260	28330
Kosten für 1 Wgkm in ₰	17,1	18,7	20,2
Wagenfolge 2½ Minuten.			
10% Zinsen und Amortisation der Stromleitung . . .	2500	2500	2500
10 » » » » » Betriebsmittel . . .	5760	5760	5760
Unterhaltung und Rücklagen der Stromleitungen . . .	1000	1000	1000
» » » » Batterien	—	—	—
Stromkosten am Wagen	6720	11200	15100
Energieverlust der Leitungen bezw. der Batterien . .	330	580	780
Allgemeine Kosten, welche allen Betrieben gemeinsam sind, 8 ₰ /*km*	22400	22400	22400
Gesamtkosten bei 280000 Wgkm	38710	43440	47540
Kosten für 1 Wgkm in ₰	13,8	15,5	17,0
Wagenfolge 1 Minute.			
10% Zinsen und Amortisation der Stromleitung . . .	2500	2500	2500
10 » » » » » Betriebsmittel . . .	14400	14400	14400
Unterhaltung und Rücklagen der Stromleitungen . . .	1000	1000	1000
» » » » Batterien	—	—	—
Stromkosten am Wagen	16800	28000	37800
Energieverlust der Leitungen bezw. der Batterien . .	850	1400	1900
Allgemeine Kosten, welche allen Betrieben gemeinsam sind, 6 ₰ /*km*	42000	42000	42000
Gesamtkosten bei 700000 Wgkm	77550	89300	99600
Kosten für 1 Wgkm in ₰	11,1	12,8	14,3

langen zweigleisigen Strecke.

II. Unterleitung			III. Akkumulatoren-Entladestrecke			IV. Akkumulatoren-Ladestrecke		
6 ϑ	10 ϑ	13,5 ϑ	6 ϑ	10 ϑ	13,5 ϑ	6 ϑ	10 ϑ	13,5 ϑ
9 000	9 000	9 000	—	—	—	2 500	2 500	2 500
1 440	1 440	1 440	2 600	2 600	2 600	2 600	2 600	2 600
2 700	2 700	2 700	—	—	—	1 000	1 000	1 000
—	—	—	2 080	2 080	2 080	520	520	520
1 680	2 800	3 780	2 310	3 850	5 200	2 310	3 850	5 200
100	170	220	710	1 150	1 570	110	190	250
8400	8400	8400	8400	8400	8400	8400	8400	8400
23 320	24 510	25 540	16 100	18 080	19 850	17 440	19 060	20 470
33,3	35,0	36,5	23,0	25,8	28,4	24,9	27,2	29,2
9 000	9 000	9 000	—	—	—	2 500	2 500	2 500
2 880	2 880	2 880	5 200	5 200	5 200	5 200	5 200	5 200
2 700	2 700	2 700	—	—	—	1 000	1 000	1 000
—	—	—	4 160	4 160	4 160	1 040	1 040	1 040
3 360	5 600	7 560	4 620	7 700	10 400	4 620	7 700	10 400
200	340	440	1 380	2 300	3 120	230	400	500
14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000
32 140	34 520	36 580	29 360	33 360	36 880	28 590	31 840	34 640
23,1	24,7	26,1	20,9	23,8	26,4	20,4	22,8	25,7
9 000	9 000	9 000	—	—	—	2 500	2 500	2 500
5 760	5 760	5 760	10 400	10 400	10 400	10 400	10 400	10 400
2 700	2 700	2 700	—	—	—	1 000	1 000	1 000
—	—	—	8 320	8 320	8 320	2 080	2 080	2 080
6 720	11 200	15 100	9 240	15 400	20 800	9 240	15 400	20 800
400	680	900	2 760	4 600	6 240	460	800	1 000
22 400	22 400	22 400	22 400	22 400	22 400	22 400	22 400	22 400
46 980	51 740	55 860	53 120	61 120	68 160	48 080	54 580	60 180
16,8	18,5	20,0	19,0	21,8	24,3	17,2	19,5	22,1
9 000	9 000	9 000	—	—	—	2 500	2 500	2 500
14 400	14 400	14 400	26 000	26 000	26 000	26 000	26 000	26 000
2 700	2 700	2 700	—	—	—	1 000	1 000	1 000
—	—	—	20 800	20 800	20 800	5 200	5 200	5 200
16 800	28 000	37 800	23 100	38 500	52 000	23 100	38 500	52 000
1 000	1 700	2 200	7 100	11 500	15 700	1 100	1 900	2 500
42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000
85 900	97 800	108 100	119 000	138 800	156 500	100 900	117 100	131 200
12,3	14,0	15,5	17,1	19,9	22,4	14,3	16,8	18,8

dann 10% des Oberleitungsanlagekapitals und die Unterhaltungskosten der Oberleitung = 2500 + 1000 = 3500 M.

Um nun den Wert der Betriebskosten im Jahresbetriebe zu charakterisieren, wählen wir den praktischen Betrieb einer etwa 10 *km* langen Bahnanlage. Auf dieser können bei einem 5 Minuten-Betrieb im Jahre 1 400 000 Wagenkilometer geleistet werden. Jeder Pfennig Betriebskostenersparnis entspricht einer Summe von 14 000 Mark. Kostet z. B. das Anlagekapital dieser Bahn 1 Million Mark, so bedeutet 1 Pf. Betriebsersparnis bereits eine 1,4% höhere Rente.

Das Hauptergebnis der ganzen Abhandlung kommt erst an der Hand einiger bestimmter Beispiele zum vollen Bewusstsein, wozu folgende Aufstellung gemacht worden ist. Als mittlerer Strompreis möge 10 Pf. für die Kw/St. gelten, da 6 und 13,5 Pf. die aussergewöhnlichen Grenzwerte bezeichnen. Die Verkehrsintervalle seien mit 5 Minuten angenommen, da in den meisten Fällen derartige Zwischenräume eingehalten werden.

	Differenz
Bei 4 *km* Oberleitung und 1 *km* Unterleitung stellen sich die Betriebskosten auf: $\frac{4 \cdot 18{,}7 + 24{,}7}{5} = 19{,}9$ Pf. für das Wgkm. Bei 4 *km* Oberleitung und 1 *km* Akkumulatoren: $\frac{4 \cdot 22{,}8 + 23{,}8}{5} = 23{,}0$ Pf. für das Wgkm.	3,1 Pf.
Bei $^9/_{10}$ Oberleitung und $^1/_{10}$ Unterleitung: $\frac{9 \cdot 18{,}7 + 24{,}7}{10} = 19{,}3$ Pf. für das Wgkm. Bei $^9/_{10}$ Ladestrecke und $^1/_{10}$ Entladestrecke: $\frac{9 \cdot 22{,}8 + 23{,}8}{10} = 22{,}9$ Pf. für das Wgkm. Bei $^9/_{10}$ Entladestrecke und $^1/_{10}$ Ladestrecke: $\frac{9 \cdot 23{,}8 + 22{,}8}{10} = 23{,}7$ Pf. für das Wgkm.	3,6 Pf. bezw. 4,4 Pf.
Bei 3 *km* Oberleitung und 2 *km* Unterleitung: $\frac{3 \cdot 18{,}7 + 2 \cdot 24{,}7}{5} = 21{,}1$ Pf. für das Wgkm. Bei 3 *km* Oberleitung und 2 *km* Akkumulatoren: $\frac{3 \cdot 22{,}8 + 2 \cdot 23{,}8}{5} = 23{,}2$ Pf. für das Wgkm.	2,1 Pf.

d. h. auf gut Deutsch: wenn man die obigen Werte in die Rentabilität eines 10 *km* langen Bahnunternehmens einbezieht, dass im Falle 4 : 1 eine $3{,}1 \times 1{,}4 = 4{,}3\%$ höhere, im Falle 9 : 1 eine $4{,}0 \times 1{,}4 = 5{,}6\%$ höhere, und im Falle 3 : 2 eine $2{,}1 \times 1{,}4 = 2{,}9\%$ höhere Rente zu erwarten steht, wenn man statt des Akkumulatorenbetriebes Unterleitungsbetrieb vorsieht.

Im allgemeinen liegen die Verhältnisse so, dass nur der kleinere Teil mit unsichtbarer Leitung befahren werden muss, sodass ein mit Unterleitung kombinierter Betrieb in jedem Falle die wirtschaftlich günstigste Lösung bietet. Kommt alsdann noch hinzu, dass mehrere derartige Linien sich auf den für Unterleitung bestimmten Strecken überdecken und dass der Betrieb mitunter oder stets mit Anhängewagen bewältigt werden muss, sind ferner grössere Steigungen zu überwinden und häufiges Anhalten erforderlich, was beides grosse Bremsarbeit und einen hohen Wattverbrauch bei geringem Nutzeffekt der Akkumulatorenbatterie erfordert, dann kann man über die Wahl des Systems sowohl vom wirtschaftlichen als auch ästhetischen Standpunkte nicht mehr im Zweifel sein, d. h. es wird der Betrieb mit Unterleitung die Oberhand gewinnen.

Das Resultat vorstehender Darlegungen lässt sich mithin in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Vom technischen Standpunkte aus sind alle drei Systeme betriebssicher und empfehlenswert.
2. Vom ästhetischen Standpunkt sind Unterleitung und Akkumulatoren gleichwertig und befriedigend.
3. Vom wirtschaftlichen Standpunkte aus ist Oberleitungsbetrieb unübertroffen und kann durch reinen Akkumulatorenbetrieb nur dann eingeholt, aber nicht überholt werden, wenn die Verkehrsintervalle eine bei städtischen Betrieben übliche Grenze überschreitet. Unterleitungsbetrieb ist bei dieser Grenze bereits wirtschaftlich ungünstig.
4. Eine Kombination zwischen Oberleitung und Unterleitung ist immer günstiger als eine Kombination zwischen Oberleitung und Akkumulatoren.

IV.

Stromverbrauch.

Den Stromschluss zwischen den zwei an jeder Stelle des Bahnnetzes liegenden Polen des Betriebsstromes bildet der Motorwagen mit seinen Wagenmotoren und sonstigen Apparaten.

Die Motoren werden von dem Wagenuntergestell getragen, während die übrigen elektrischen Apparate sich in, an oder auf dem Wagenobergestell, dem Kasten, befinden. Der Kasten dient ferner, wie bei allen Gefährten, zur Aufnahme der Nutzlast, in unserem Falle der Personen. Neben den Personenwagen bedarf der Betrieb noch anderer Fahrzeuge, deren äussere Gestaltung wesentlich von der Form der Personenwagen abweicht, die jedoch unter das rollende Material zu zählen sind.

Man macht den europäischen Wagenfabriken den Vorwurf, dass sie bei ihrer Fabrikation nicht immer mit den laufenden Betriebs-Erfahrungen und -Bedürfnissen gleichen Schritt halten, weil sie die Erfahrungen nicht genügend verfolgen. Die Amerikaner gehen darin einem praktischeren Prinzip nach, indem die grossen Werke einen ständigen Beobachter in diejenigen Betriebe hineinsetzen, welche Erzeugnisse ihrer eigenen oder auch fremden Fabrikation verwenden. Es lassen sich eben durch den kurzen Besuch eines Waggonfabrik-Direktors nicht alle die kleinen Wünsche des Betriebsführers oder Wagenmeisters geltend machen, dagegen sind lange Ausschreibungsbedingungen schwerfällig, eingehende Zeichnungen mit allen Möglichkeiten teuer und das ganze bei uns beobachtete Bestellungs-System langwierig. Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, dass die amerikanischen Wagen praktischer, dauerhafter und billiger sind, trotzdem dieselben mit höheren Arbeitslöhnen hergestellt werden müssen, als die unsrigen. Ob sie aber auch schöner sind, das steht freilich auf einem anderen Blatte, kommt aber für den technischen und finanziellen Wert einer Anlage erst in zweiter Linie in Betracht.

1. Das rollende Material (Fahrpark).

Das rollende Material für Personenbeförderung soll eingehend behandelt werden, da die Ausbildung jedes einzelnen Teiles besondere Beachtung erforderlich macht. Der elektrische Bahnbetrieb hat die Konstruktionsbedingungen des Wagenbaues zum Teil verändert und stellt besondere Anforderungen an denselben.

a) Wagenkästen.

Die Form der Wagenkästen für elektrischen Bahnbetrieb hat sich aus den früheren Wagenformen entwickelt.

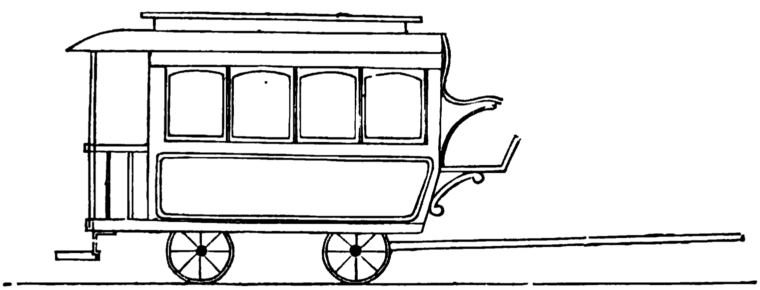


Fig. 348.

Der Ursprung der Strassenbahnwagen ist bei den Omnibussen zu suchen. Diese von Pferden gezogenen, vom Kutscher gelenkten und vom Schaffner bedienten Strassengefährte weisen einen Kutscher-

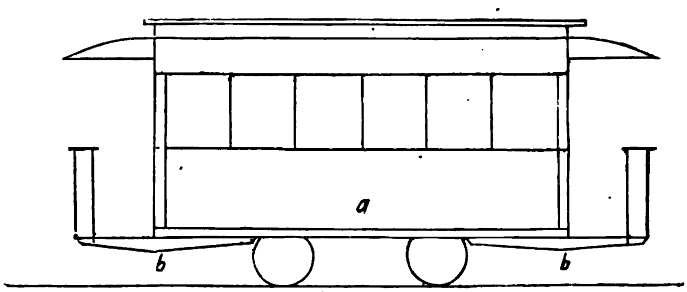


Fig. 349.

sitz vorn und einen Schaffnerstand hinten auf. Beide bleiben stets dem gleichen Zwecke bestimmt und sind entsprechend konstruiert. Der Schaffnerstand dient zugleich dem Publikum als Einsteigestelle. Da der Omnibus am Endpunkt wendet, so brauchen Kutscherplatz und Schaffnerstand nicht symmetrisch zu sein. (Fig. 348.)

Der nächste Schritt für die Wagenform war der Pferdebahnwagen. Hier verlangten die Verhältnisse eine symmetrische Bauart vorn und

hinten. Kutscherstand, Schaffnerstand und Einsteigestellen mussten gleichartig werden. Man hängt (Fig. 349) an den eigentlichen Wagenkasten a den Vorder- und Hinterperron mittels besonderer Horizontalstützen b an und erreicht so die beliebige Verwendbarkeit vorn oder hinten. Zugleich musste der Kutscher seinen Sitz aufgeben und stehend seines Amtes walten.

Die Perrons haben sich in der Gunst des Publikums derartig eingebürgert, dass man dieselben nach Möglichkeit zu vergrössern sucht. Die Perronstehplätze, hinten sowohl wie vorn, sind Rauchplätze im Gegensatz zu den Sitzplätzen im Wageninnern. Die Schaffung grosser Perrons bietet der Platzausnutzung günstigere Verhältnisse. Während nämlich ein Sitzplatz 0,45 bis 0,5 *qm* Grundfläche bei 0,5 *m* Sitzbreite braucht, ist ein Stehplatz mit 0,225—0,25 *qm* geschaffen. Es liegt daher nahe, die Perrons so gross wie möglich

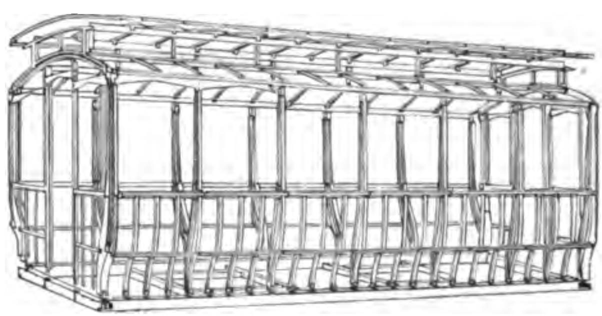


Fig. 350.

zu machen, zumal die Wagenausstattung bei grösserer Stehplatzanzahl billiger wird, als bei gleicher Sitzplatzanzahl.

Wenn man beim Pferdebetrieb ein besonderes Gewicht auf leichte Bauart des Wagens gelegt hat, so geschah dies mit Rücksicht auf die äusserste Ausnutzung des Pferdematerials, welchem man eine grössere Leistung beim rationellen Betriebe nicht zumuten durfte. Sobald der motorische Betrieb in Frage kam, fiel dieser Grund fort und es wurden dem Zeitbedürfnis entsprechend stärkere Konstruktionen im Kastenbau zulässig.

In Fig. 350 ist das Wagengerippe eines Kastens in seinen hauptsächlichsten Bestandteilen dargestellt. Der unterste Holzrahmen besteht zumeist aus Eichenholz, der obere Rahmenbau aus Eichenholz oder Eschenholz und die Verschalungen aus 10 *mm* Kiefernholz oder 2 *mm* verzinktem Eisenblech. Fourniere und Zierleisten können je nach Verwendungsart gewählt werden. Alle Zapfen müssen gut verleimt sein, während alle Eisenteile mittels Bleiweiss

auf das Holz aufgelegt werden müssen, um eine elastische und abdichtende Zwischenlage zu erhalten.

Disposition und Inhalt bewährter Wagenlieferungsbedingungen seien im folgenden auszugsweise wiedergegeben:

1. Fassungsraum (Sitzplätze, Stehplätze, Bedienungsmannschaft).

2. Hauptmasse des Wagenkastens:

Dieselben richten sich nach den örtlichen Bestimmungen, welche grösste Breite, Länge und Höhe angeben. Für eine Sitzplatzbreite rechnet man 0,5 *m*. Unter 2,2 *m* Kastenbreite empfiehlt sich die Anbringung von Längssitzen, über 2,2 *m* können Quersitze eine günstigere Raumausnutzung gewähren.

3. Qualität der verwendeten Materialien:

a) Beschaffenheit und Art der Hölzer. Vollkommene Trockenheit muss möglichst durch angemessene Lagerung, nicht durch künstliche Austrocknung erfolgen. Die Hölzer sollen splint- und astfrei sein.

Die Dachspriegel sind unter Dampf zu biegen.

b) Beschaffenheit und Art der Metalle. Das zu verwendende Schmiedeeisen muss von gleichmässiger, sehniger Struktur, von bester, zähester Qualität sein und darf keinen Kaltbruch zeigen. Bei den Beschlägen dürfen Teile nie stumpf gegeneinander geschweisst sein, sondern vollkommen ganz geschmiedet und durchgängig mit der Feile katzgrau bearbeitet sein. Mit besonderer Sorgfalt sind alle zu Tage tretenden Teile zu bearbeiten. Das zu verwendende Gusseisen muss grau, dicht, rein und sauber gegossen sein.

Das schmiedbare Gusseisen, welches zur Anwendung kommt, ist von bester Qualität zu wählen.

Alle Beschläge und Griffe sind sauber und glatt gearbeitet von Rotguss herzustellen.

4. Anstrich des Holzes und der Metalle:

Zum Schutze gegen Fäulnis und Rosten müssen alle Teile gründlich imprägniert und grundiert werden.

Die Lackierung muss dauerhaft sein und darf nicht rissig und sprüngig werden. Die Fensterrahmen müssen gründlich mit gekochtem Leinöl durchtränkt sein.

5. Abdeckung der Dächer:

Die Dächer sind gut zu ölen und mit Leinwand, welche thunlichst für jede Dachfläche aus nur einem Stücke ohne Naht bestehen muss, wasserdicht einzudecken.

Die Dachleinwand ist nur an solchen Stellen und in solcher Weise zu befestigen, dass infolge der Befestigung keine Feuchtigkeit

unter die Leinwand treten kann. Vor Auflegen der Leinwand ist das Dach mit einer breiigen Masse, welche durch Mischung von 15 *kg* Firnis, 2,5 *kg* Burgunderharz, 15 *kg* Schlemmkreide, 2,5 *kg* Goldocker, 2,5 *kg* Umbra und 2,5 *kg* Silberglätte hergestellt ist, zu bestreichen und hierauf die Leinwand zu spannen und gut anzudrücken.

Die Oberfläche der Leinwand ist dann dreimal mit Waterproof-Firnis zu streichen.

Die zum Eindecken verwendete Leinwand darf keine Jute enthalten.

Auf dem Dach ist ein Laufrost anzubringen, welcher leicht abnehmbar sein muss.

Die Kanten der Perrondächer sind mit Blech zu beschlagen und schwarz zu streichen.

6. Konstruktion des Wagenkastens:

Dieselbe ist von dem Gesichtspunkte aus durchzuführen, dass die geschlossenen Wagenkasten auf zweiachsige eiserne Untergestelle für die betreffende Spurweite aufgesetzt werden können. Eine 50 %ige Personenüberlastung darf keine bleibenden Formveränderungen im Gefolge haben.

Die Sitze sind als Latten- bezw. Leistensitze oder als Fourniersitze zu gestalten.

Die Sitzplatten sind leicht abnehmbar zu machen. Die Verschalung soll der Reinigung wegen der ganzen Länge nach abnehmbar sein, also z. B. durch Riegel eingesetzt werden.

In einer Ecke ist unter den Sitzen ein verschliessbarer Werkzeugkasten anzuordnen.

Die Fenster sollen leicht beweglich und durch gute Federvorrichtungen gegen das Wackeln gesichert sein; sie sollen durch Eckwinkel von kräftigem Messingblech von 20 × 2,5 × 100 *mm* gegen Verschiebung gesichert sein.

Die untere Umrahmung der Fensteröffnungen muss mit Winkeleisen belegt sein, deren Schenkel 15 *mm* über die Bekleidung herausragen, damit das von den Fenstern ablaufende Regenwasser nicht über die Bekleidung läuft. Vor jedem herablassbaren Fenster muss sich auch eine herablassbare Jalousie befinden.

Die seitlichen Ventilationsfenster im Dachaufsatz müssen in Metallscharnieren beweglich sein. Sämtliche Scheiben sind in Gummi zu legen.

Die Wagen sind mit leicht beweglichen und gut schliessenden Schubthüren zu versehen, welche sich nicht von selbst öffnen können. Auf beiden Seiten der Wagenthür sind in der Stirnwand des Wagens Fenster bezw. Doppelfenster anzubringen, welche durch je vier Messing-

stäbe zu sichern sind. In den Thüren sind Zahlfensterklappen anzubringen.

Die Sandstreuer sind vom Perron aus bedienbar einzurichten. Die Schieber der Sandstreuer und die an den Wagenboden unten angeschraubten Sandtrichter sind gegen Spritzwasser und Abtropfwasser zu schützen.

Die Dielen des Fussbodens sind mit Nut und Feder zu versehen, damit sie sich nicht werfen. Die Fussbodenstärke im Wagen und auf den Perrons soll mindestens 25 *mm* betragen.

Um die Zugänglichkeit zu den Motoren zu ermöglichen, müssen entsprechende Fussbodenklappen angeordnet werden.

In zwei Ecksäulen des Wagenkastens und zwar dort wo die geöffneten Schiebethüren nicht liegen, sind vom Dach bis zum Fussboden Rillen von 20 *mm* Durchmesser zu führen, in welche der Stromleitungsdraht gelegt werden kann. Für diese Leitungen sowohl, wie für alle Licht- und Klingelleitungen sind entsprechend polierte Deckleisten mit zu liefern.

Die Laufroste in den Wagen sind aus Buchenholz herzustellen.

Im Innern des Wagens sind Riemenschleifen zum Festhalten stehender Fahrgäste anzubringen. An den Wagenkastenstirnwänden sind aussen vier starke horizontale Quergriffe in Rotguss von Ecksäule zur Thürpfostensäule in einer Höhe von 85 *cm* von Perron-Fussbodenoberkante anzubringen.

Zum Anbringen der Annoncen sind je zwei Leisten als Längsführungen und je eine schmale, mittlere Befestigungsleiste vorzusehen.

Die Perronunterzüge sind mit Eisen zu armieren. Acht Perronsäulen, welche die Perronthüren begrenzen, sind bis zum Dach durchzuführen.

Eine feste Leiter zum leichten Besteigen des Wagendaches ist anzubringen.

Die Dachentwässerung ist nicht durch die Perronsäulen, sondern an je zwei Punkten der Längsseiten des Wagens zu bewirken.

Die Winkeleisen des Perronbleches sind mit durchgehenden Mutterschrauben an das Holz anzuschrauben. Die lichte Länge der Plattform soll nicht über 1500 *mm* sein.

Die Wagentritte sind aus ⬦ Sprosseneisen (parallel der Längsrichtung der Tritte) herzustellen.

Die Radschutzkästen sind ganz aus Blech zu fertigen, von unten in die entsprechende Fussbodenöffnung einzuführen und mit durchgehenden Mutterschrauben von unten zu befestigen.

Die Signalgebung zwischen Schaffner und Führer hat mittels elektrischer Klingeleinrichtung zu erfolgen.

In den meisten Fällen sind zweiachsige Wagen in Verwendung.

In Fig. 351 erfolgt die typische Darstellung eines Pferdebahnwagens bezw. eines kleinen Anhängewagens.

Da die elektrischen Strassenbahnen an Stelle der Pferdebahnen treten sollten, lag der Gedanke sehr nahe, den Pferdebahnwagen als Modell für die ersten elektrischen Strassenbahnwagen zu nehmen und die elektrische Einrichtung in denselben einzubauen. Natürlich sind dabei alle Übel und Mängel, welche dem Pferdebahnwagen besonders betreffs der Verbindungskonstruktionen zwischen den Laufrädern und dem Wagenkasten anhaften, auch bei den ersten elektrischen Wagen zum Vorschein gekommen und hier in stärkerem Masse zur Geltung gelangt, weil die Anforderungen an grössere

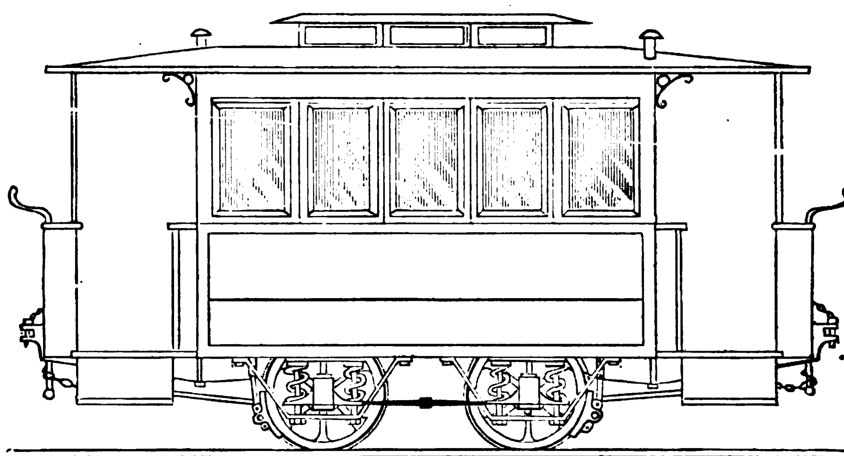


Fig. 351.

Geschwindigkeiten, rascheres Anhalten und Anfahren bedeutend gestiegen sind.

Diese Übel und Mängel waren eine Folge des Pferdebetriebes.

Da man bei Konstruktion und Ausführung dieser Wagen nur mit tierischen Leistungen rechnen konnte, mussten manche Bestrebungen auf Verbesserungen fromme Wünsche bleiben, weil dieselben bei ihrer Verwirklichung und Ausführung die Grenzen des höchsten, noch zulässigen Gewichtes der Pferdebahnwagen überschritten hätten.

Der in Fig. 351 dargestellte Wagenkasten ruht vermittelst Tragfedern elastisch auf den Achslagern, zu welchem Zwecke letztere entweder mit beiderseits angegossenen Vorsprüngen versehen sind, oder für die Aufnahme einer Blattfeder oder einer central gelagerten Spiralfeder geeignet sind. Die Achsgabeln (Achsscheren) greifen

entweder in der Ebene der Federn an (Mittelführung) oder hinter denselben. Die erstere Ausführung ist günstiger, weil die Schleifflächen grösser sind und die Abnützung an denselben geringer bleibt.

Bei kleinem Federnstand kommt sehr häufig der Wagen bei den geringsten Unebenheiten der Gleise in ein unangenehmes Wiegen. Die Aufhängung des Bremsklotzes direkt am Wagenkasten bewirkt, dass der letztere, besonders bei raschem Bremsen dem Fussboden starke Vibrationen mitteilt, welche für die Fahrgäste unangenehm sind. Dieser Übelstand wuchs bei den grösseren Geschwindigkeiten der elektrischen Bahnen. Diese einfache Konstruktion des Wagens bot keinen richtigen Anhalt für eine gute Aufhängung der Elektromotoren, für welche der Wagenkasten selbst benutzt werden musste, in dieser Verbindung diente aber der Fussboden für die ohnehin nicht sehr schweigsamen Elektromotoren der ersten Zeit als Resonanzboden und verstärkte das unangenehme Geräusch der Motoren.

Heute finden derartige Wagentypen nur noch als Anhängewagen Verwendung. Für den motorischen Betrieb ist man allgemein zu der Verwendung besonderer Untergestelle übergegangen, um zu erreichen, dass bei grösserer Wagenlänge bezw. bei Verwendung grösserer Perrons das unangenehme Schaukeln vermieden wird, weil man alsdann die Federn mehr nach vorn und hinten legen kann. Zudem kommt, dass durch das Untergestell ein passendes Auflager für den besonders federnd aufgehängten Motor geschaffen wird.

Ein modernes typisches Beispiel zweiachsiger Motorwagen für elektrischen Betrieb zeigt Fig. 352. Dieser Wagen stammt von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin und ist diese Zeichnung zuerst in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure erschienen.

Als die praktischste zweiachsige Wagenkastengrösse hat sich der 18 sitzige erwiesen. Die innere Kastenlänge ist hierbei rd. 4,5 *m* bei 1,80—2,00 *m* lichter Breite. Die Perrons macht man nicht kleiner als 1,20 *m* und nicht grösser als 1,50 *m* innerer Länge. Dicht an der Perron-Vorderwand befinden sich Schalter, Bremsspindel und alle für den Führer nötigen Apparate und Hebel. Eine zweckmässige Unterbringung dieser Gegenstände erfolgt in einer sogenannten Schaltkommode, welche den vorderen Teil des Perrons einnimmt. Zugleich bietet sich hierbei Platz für Unterbringung von Gegenständen, Werkzeugen u. dergl.

Unstreitig hat sich durch den elektrischen Betrieb das Fahrbedürfnis gehoben, und dadurch sind mit der Zeit grössere Wagentypen erforderlich geworden. Die zweiachsige Type erreicht jedoch sehr bald ihre Grenze in der Beanspruchung der Konstruktions-

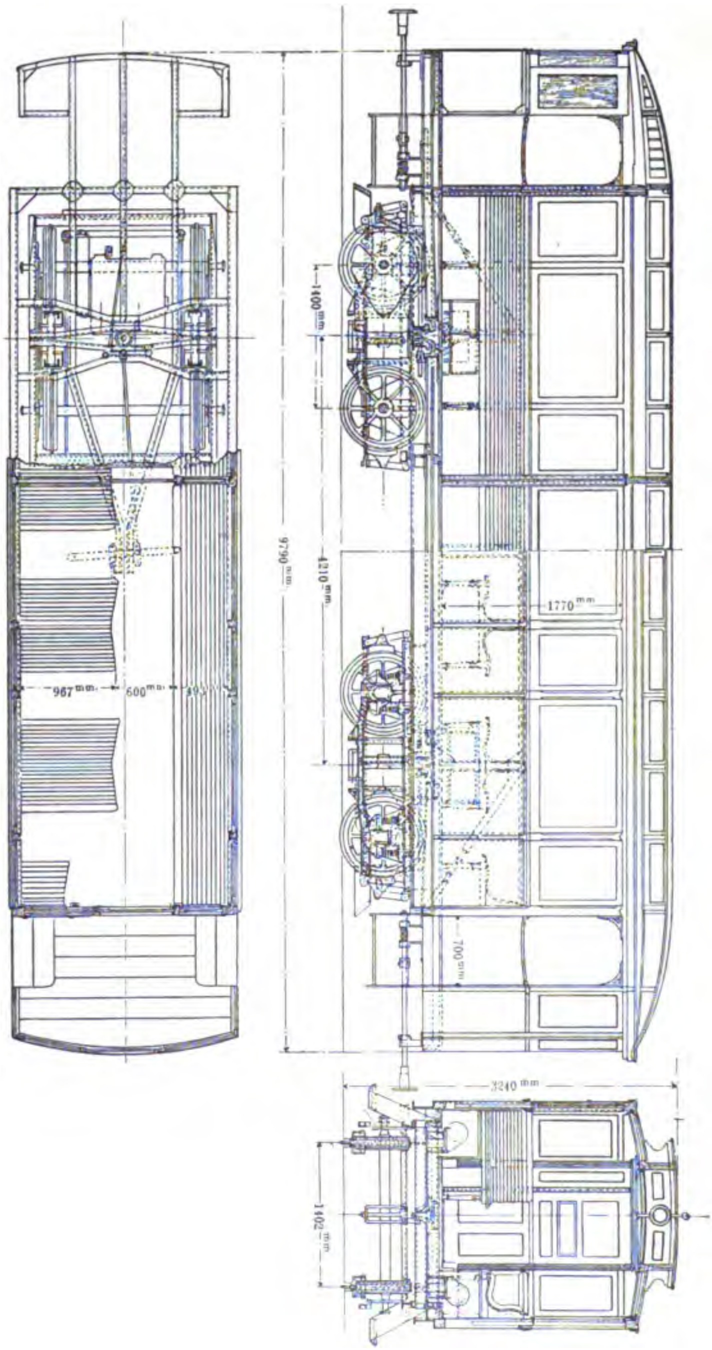

1400 mm
9790 mm
4210 mm
1770 mm
700 mm
967 mm
600 mm
3240 mm
1402 mm

Fig. 353.

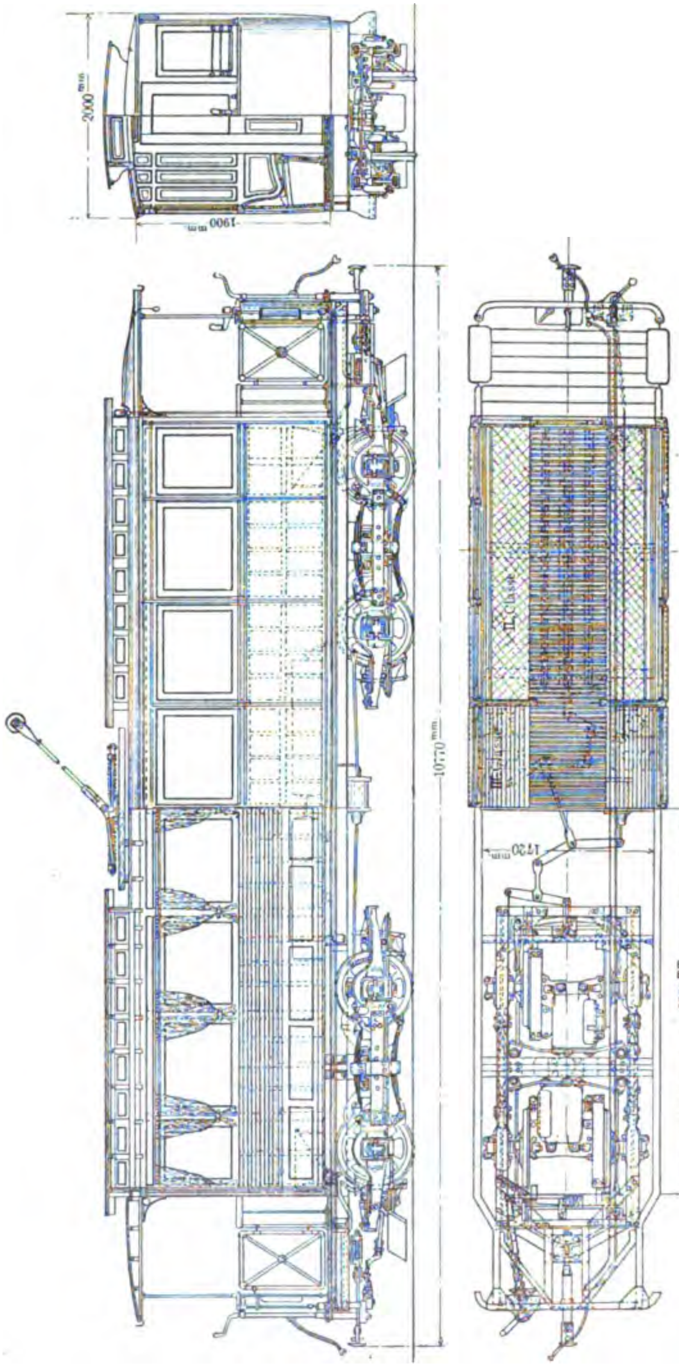


Fig. 354.

materialien und in der Belastungsfähigkeit der Schienen. Kommt nun noch hinzu, dass die Wagen mit Akkumulatorenbatterien versehen sind, deren Minimalgewicht 2000 *kg* beträgt, so macht sich das Bedürfnis nach drei- oder vierachsigen Wagen geltend.

Das Schaukeln der zweiachsigen Wagen bedingt einen zeitweise übernormalen Achsdruck, der sich schädigend für die Gleisbettung besonders an den Schienenstössen bemerkbar macht. Der Achsdruck bei dem üblichen zweiachsigen Wagen wächst mit jeder Ausführung, sodass die Schienen höher und schwerer genommen werden müssen, um bei dem verhältnismässig schlechten Unterbau auf Strassen, wo ein Nachstopfen verdrückter Bettung nicht immer möglich oder nur mit hohen Kosten erschwinglich ist, die Erschütterungen des Wagens an den Schienenstössen zu vermeiden. Hierzu kommt, dass durch die einseitige Belastung eines zweiachsigen Wagens, wenn z. B. der hintere Teil des Wageninnern und der Hinterperron belastet sind, während der vordere Teil unbelastet ist, das Wagengewicht über der hinteren Wagenachse ausbalanziert wird und der Gesamtdruck auf nur einer Achse ruht. Dieser Fall tritt häufig genug ein.

In der Fig. 353 ist der bei der Budapester Stadtbahn eingeführte vierachsige Motorwagen mit Drehgestell konstruktiv dargestellt. Derselbe zeigt in seiner Sitzplatzanordnung eine gute Platzausnutzung für 29 Sitzplätze, welche bei Anwendung von nur Längssitzen bei der lichten Wagenbreite von 2060 *mm* nicht zu erreichen gewesen wäre. Zudem zeigt der Wagen noch geschlossene Perronwände, um dadurch einmal dem Führer Schutz zu bieten und zum anderen die Stehplätze des Vorderperrons bei schlechtem Wetter zu angenehmen zu machen. Fig. 354 zeigt den bei den kleinspurigen oberschlesischen elektrischen Strassenbahnen verwendeten Drehgestellwagen mit Längssitzen für 28 Sitzplätze. An diesem Wagen ist neben der mechanischen Kurbelbremse eine Luftdruckbremse zum Gebrauch montiert, um zu ermöglichen, dass eine vom elektrischen Strome vollständig unabhängige Bremse auch für die motorlosen Anhängewagen bethätigt werden kann.

Eine lediglich den Bedürfnissen des elektrischen Betriebes angepasste neuere Wagenform zeigt Fig. 355.

Ausgehend von dem Grundsatz, dass es möglich bleiben muss, den Raum zwischen den Achsen und Rädern jedes Drehgestelles voll und ganz für die Unterbringung kräftiger Elektromotoren auszunutzen, dürfen derartige Wagen nicht mit tragendem Mittelzapfen gebaut werden. Man muss also bestrebt sein, die tragenden Flächen vom Mittelzapfen unabhängig zu machen.

Lange Wagenkästen werden indess auf den Gleisen einer Strassenbahn sehr bald ihr festes Gefüge verlieren, da die Gleise der Strassen-

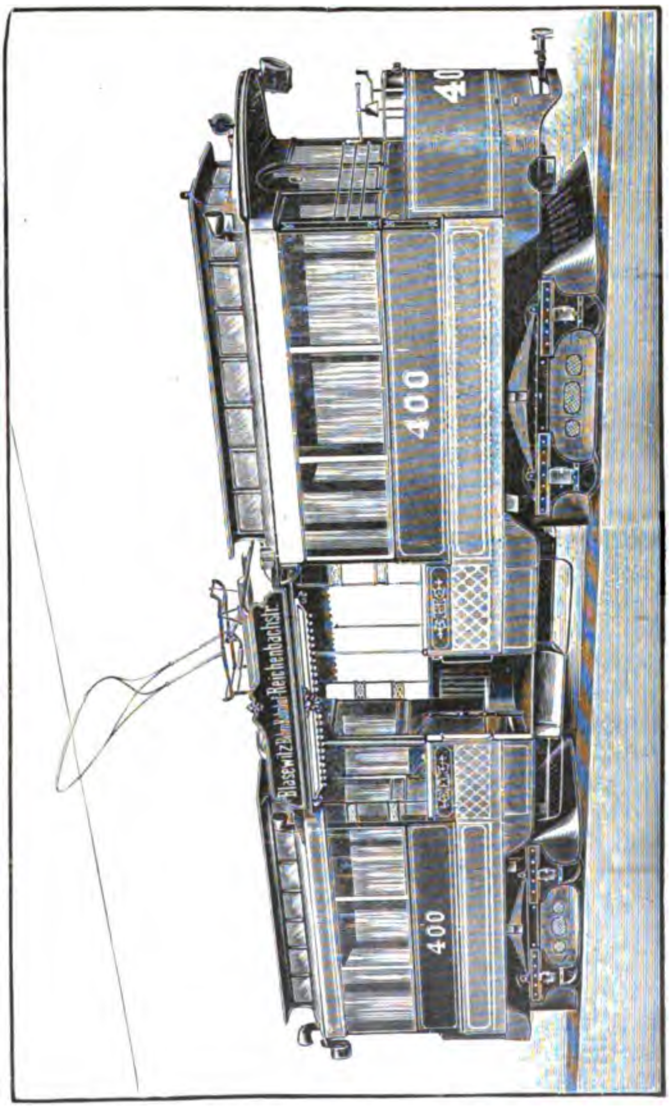


Fig. 355.

oberfläche angepasst werden müssen und man keine Rücksicht auf geeignete Übergangskurven nehmen kann. Das Kastengefüge der vorliegenden Konstruktion ist daher durch ein offenes, von den eigent-

lichen Kästen unabhängiges Mittelstück unterbrochen worden, ohne dadurch den Gesamteindruck und die Zusammengehörigkeit der einzelnen Teile für das Auge und für den Konstrukteur zu stören.

Der tragende Längsbalken des Wagens wird direkt von den Blattfedern unterstützt, welche ihrerseits über den Lagern befestigt sind, sodass der Hauptträger des Untergestelles als elastischer Träger ausgebildet ist, während der eigentliche Rahmen des Untergestelles nur den Zweck erfüllt, die Achsgabeln zu führen. Der Mittelbund der Federn ist mit einem Schleifstück versehen, welches auf einer unterhalb des Wagen-Längsbalkens angebrachten Platte unter Öl schleift. Bei normalspurigen Wagen kann der Achsstand immerhin noch so gross gewählt werden, dass ein führender Mittelzapfen angebracht werden kann. Bei meterspurigen Wagen, wo man den Achsstand nicht gern grösser als 1,2 *m* nimmt, um eine leichte Befahrung kleiner Kurven zu ermöglichen, muss die Rundführung des Untergestelles möglichst mit der Feder-Tragfläche vereinigt werden. Es lassen sich für diese Art Untergestelle die verschiedensten Formen anwenden, wobei immer zu beachten ist, dass infolge der prinzipiellen Anordnung der Wagenkasten in seiner Längsrichtung tordieren wird. Wenn man indess seine Bauart nicht entsprechend wählt, wird das Kastengefüge stark beansprucht.

Die vorliegende Konstruktion bezweckt nun, einen Wagen zu schaffen, dessen Gestell unbeschränkt lang sein und trotzdessen den Unebenheiten der Gleise folgen kann, ohne dass das Gefüge des Kastens sich lockert. Es ist zur Erreichung des gesteckten Zieles nötig, dass man das Kastengefüge durch ein tordierbares Zwischenstück unterbricht, welches entweder in sich selbst elastisch sein kann, oder doch wenigstens tordierende Bewegungen zulässt. Diese Bedingung schliesst die Anwendung von kastenförmigen Wagenteilen aus, und führt zur Verwendung von Plattformen und Dächern, die gegenseitig in losem Zusammenhang stehen. Es darf diese Kastenunterbrechung den Eindruck des zusammengehörigen Ganzen jedoch nicht stören und muss der Tordierung in Richtung der Fahrt Raum geben.

Die beiden dargestellten Wagenkästen ruhen auf einem gemeinsamen, aus durchgehenden Längsträgern gebildeten Untergestell, das sich wiederum direkt auf die Federn der Drehgestelle stützt. Diese Längsträger können gerade oder auch nach unten gekröpft, wie in Fig. 355 gezeigt, ausgebildet sein. Es liegt, wie gesagt, nahe, den mittleren Teil des Wagens nur als Plattform auszubilden und auf dieser Platte ein Dach derartig anzubringen, dass es sich lediglich auf die Plattform stützt, ohne mit dem Wagenkasten in irgend welcher Berührung zu sein. Die Abdichtung dieses schirmartig auf-

gestellten Mitteldaches gegen die beiden Wagenkästen erfolgt durch Übergreifen der drei Dachenden und durch Anbringung von Randleisten, die ein Einlaufen von Regenwasser verhindern.

Bei dieser Wagentype erfolgt der Einstieg nicht wie bisher, vorn und hinten, sondern nur in der Mitte, zu welchem Zwecke die mittlere Plattform entsprechend vertieft ist. Von der Plattform aus führt nochmals eine Stufe zu den Wagenkästen.

Durch die niedrige Plattform ist der Schwerpunkt der Nutzlast möglichst nach unten verlegt worden und das Besteigen des Wagens wird hierdurch wesentlich erleichtert. Die Einsteigeöffnung ist 1 *m* breit und nur an einer Seite geöffnet. Die andere in der Fahrtrichtung linke Seite ist durch eine umhängbare Gitterthüre verschlossen. Die Bremsung des Wagens erfolgt sowohl durch mechanische Bremskurbeln und Bremsklötze, als auch durch elektromagnetische Achsbremsen. Die mittlere Plattform, welche ausserdem mit kleinen Ecksitzen ausgestattet ist, bietet einen angenehmen und jederzeit geschützten Aufenthalt.

Als eine besondere Annehmlichkeit wird es bekanntlich bei Omnibussen empfunden, dass die Vorderwand des Wagens stets geschlossen ist. Auch bei diesem Wagen kommt dieser Vorteil zur Geltung, da die Vorder- und Hinterwand stets geschlossen bleiben und selbst nicht durch Zahlfenster in den Glasscheiben einen Luftzug ermöglichen lassen. Der Schaffner braucht nicht durch den Wagen zu laufen, um vorn und hinten Geld einzukassieren und er behält eine gute Übersicht über die Fahrgäste, die nur von der Mitte Zugang finden. Der Führer hat einen vollständig von Fahrgästen gesonderten Stand auf dem Vorderperron und kann mithin nicht mehr durch Fragen der Fahrgäste belästigt und in seinen verantwortungsvollen Funktionen gestört werden. Das übrige bei Strassenbahnen mitfahrende Leer-Personal kann auf dem Hinterperron Platz nehmen, ohne dadurch das fahrende Publikum zu beeinträchtigen, bezw. geldeinbringende Plätze fortzunehmen.

Bei Kleinbahnen birgt diese Wagenform den Vorteil in sich, auf ein- und demselben Wagen gesonderte Wagenabteilungen für Klasseneinteilung zu haben. Der mittlere Teil dient zur Beförderung von Handgepäck und Stückgut.

Der Abschliessung des Vorder- und Hinterperrons durch Glas- und Schutzwände bietet sich kein Hindernis und die Unterbringung der Kontrol- und Regulierungsapparate, der Schalter, Widerstände und dergl. lässt sich auf einem, dem Fahrgast unzugänglichen Raume besser bewirken, als dies bei anderen Wagentypen möglich ist.

Neuerdings ist das Bedürfnis zu Tage getreten, umwandelbare Strassenbahnwagen zu haben.

Bekanntlich sind die Strassenbahngesellschaften genötigt, einen doppelten Wagenpark zu halten, bestehend aus geschlossenen Fahrzeugen für den Winter und offenen für den Sommer. Um den Missstand zu beseitigen, ist wiederholt der Vorschlag gemacht worden, einen geschlossenen Wagen zu bauen, welcher durch Entfernung der Seitenwände rasch in einen offenen verwandelt werden könnte. Die Lösung dieser Aufgabe ist in den Figuren 356—358 durch den sogenannten Duplexwagen dargestellt.

Bei der Ausführung dieses Wagens ist darauf Bedacht genommen worden, dass sich derselbe äusserlich von einem solchen gewöhnlicher Bauart nicht erheblich unterscheide. Ist der Wagen geschlossen, so treten die Seitenpfosten ein wenig aus der Wand hervor und im Innern ist die Decke kreisrund gewölbt. Der Dachaufbau ist der gewöhnliche.

Die Abbildungen zeigen den Wagen offen und geschlossen. Die Umwandlung geschieht durch Verschiebung der Füllungen und Fenster. Die Füllungen gehen von Sitz zu Sitz und werden durch gewöhnliche Haken festgehalten. Die unteren Teile der Füllungen sind biegsam, aus Metall oder aus Fiber mit horizontalen Leisten. Auf der Rückseite haben sie einen Überzug aus Wilton-Tuch, sodass sie sich der Krümmung der Pfosten, welche geschweift sind, anschmiegen. Wenn die Füllungen, welche in Nuten laufen, heruntergelassen sind, so sind die Haken zum Festhalten der Fenster über denselben. Die Fenster, welche aus zwei gelenkig miteinander verbundenen Teilen bestehen, gleiten in Nuten, welche in den Grund der oben genannten Nuten eingelassen sind. Die Bewegung der Füllungen und Fenster erfolgt wie bei einem gewöhnlichen Schiebfenster. Ist diese feste und doch biegsame Füllung herabgelassen, so bildet sie eine Wand vom oberen Ende der Sitzlehnen, bis zum Boden, und die Fenstcr und Vorhänge können wie gewöhnlich auf und ab gezogen werden. Sind Füllungen und Fenster in die Nuten der kreisförmigen Decke geschoben, so können die Vorhänge bis auf den Boden herabgezogen werden und schliessen den Wagen vollständig. Ist der Wagen offen, so hat er alle Annehmlichkeiten eines Sommerwagens mit Quersitzen, er ist von der Seite zugänglich und das Ein- und Aussteigen kann sehr rasch vor sich gehen. Sind die Füllungen und Fenster herabgelassen, so ist der Wagen vollständig geschlossen. Da der Wechsel vom Schaffner und Wagenführer in drei bis vier Minuten vorgenommen werden kann, so ist es möglich, jeden offenen Wagen, sobald das Wetter es verlangt, in einen geschlossenen zu verwandeln.

Fahrzeuge dieser Art können bis zu jeder gewünschten Grösse und Kapazität gebaut und auf gewöhnlichen Untergestellen oder auf Drehgestellen montiert werden, je nach ihrer Länge.

An den Plattformen können in bekannter Weise Thüren angebracht werden. Das Wageninnere enthält Quersitze. An jeder Seite befindet sich ein Laufbrett, welches aufgeklappt wird, wenn der Wagen geschlossen ist. Der Zugang erfolgt dann über die Plattformen, welche besondere Stufen haben.

b) Untergestelle.

Unter Untergestell versteht man den Rahmen, der die gesamten beweglichen Teile des Wagens trägt, insbesondere die Räder, Federn, Bremsen, Motoren. Man hatte, wie bereits erwähnt, anfangs den Wagenmotor am Rahmen des Wagenkastens befestigt und ging mittels elastischer Übertragungen zur Triebachse.

Sprague machte dann einen Schritt weiter, indem er den Motor mit dem einen Ende an dem Fussboden des Wagenkastens befestigte und mit dem anderen auf die Radachse lagerte. Er erzielte dadurch eine feste Entfernung zwischen Rad und Motor, aber die Stösse des Wagens gaben dem Motor eine für den Wagen nachteilige störende Bewegung.

Die Idee des gesonderten Untergestelles tauchte bereits im Jahre 1885 auf und wurde zwei Jahre später allgemein eingeführt. Bei allen älteren Untergestellen ruhte der Rahmen unmittelbar auf den Lagern; infolgedessen wurden durch die Stösse und Erschütterungen die Metallmassen krystallinisch und die Motoren beschädigt; auch war es unmöglich, Bolzen und Schrauben dicht zu halten. Man schob zwischen Rahmen und Lager ein elastisches Zwischenglied ein und legte zunächst zwischen die Lager und das Lagergestell ein dickes Stück Gummi. Wenngleich nun die Idee richtig war, so liess doch die Ausführung zu wünschen übrig, weil Gummi nur geringe Elastizität besitzt, durch Öl aufgelöst wird und wenig dauerhaft ist.

Man griff zu Spiralfedern, welche auf die Lager gesetzt wurden; allein der Raum über dem Lager war so gering, dass man eine sehr steife Feder anwenden musste und damit nicht viel mehr als mit der Gummizwischenlage erzielte. Ausserdem zeigte es sich, dass diese Lage der Feder eine seitlich ruckende Bewegung der Lager begünstigte. Durch Anfügung von Vorsprüngen zu beiden Seiten des Lagersockels, auf welchen Federn aufsassen, gewann man Raum für zwei längere Federn von grösserem Durchmesser, welche die Last bequem tragen konnten und genügende Bewegung ge-

statteten. Diese Anordnung gab den Lagern eine sichere und stossfreie Stellung.

Die ersten Untergestelle hatten zwar schon alle wesentlichen Teile des heutigen Untergestelles, waren aber noch keineswegs vollkommen und verlangten Abänderungen, welche die Betriebsverhältnisse bedingten. In erster Reihe musste die Herausnahme der Räder und Achsen sich ebenso leicht erzielen lassen, wie bei den alten Lagern der Pferdebahnwagen. Man erreicht dies dadurch, dass durch das Emporheben des Rahmens die Achse und die Räder bequem unten herausgenommen werden können.

Früher hatte man die Bremsen am Wagenkörper befestigt. Man fand aber bald, dass die Bremsen bei elektrischen Strassenbahnen eine andere Bedeutung haben als bei Pferdebahnwagen, da die grössere Fahrgeschwindigkeit und das höhere Gewicht des Wagens das Anhalten des Wagens erschweren und zudem kurzes Anhalten ein unbedingtes Erfordernis für die Vermeidung von Unfällen ist.

Wenn nun die Bremsen am Fussboden des Wagenkastens befestigt waren, so kamen die Bremsklötze bei starker Belastung des Wagens zu weit vom Rad zu stehen, die Bremskette hing zu weit hinunter und konnte nicht rasch genug herangeholt werden. Dieser Übelstand wurde einfach dadurch beseitigt, dass man die Bremse an dem Untergestell befestigte, sodass sie durch die Bewegung der Kastenfedern nicht beeinflusst wurde.

Als man nun bestrebt blieb, ein gesondertes Gestell herzustellen, welches sowohl den Motor als auch den Wagenkasten zu tragen bestimmt war, bemühten sich die Konstrukteure neue Typen dieser Anordnung zu ersinnen und in ihren Einzelteilen auszuarbeiten, die auftretenden Mängel zu beseitigen und eine Konstruktion zu schaffen, welche allen Anforderungen entspricht.

Die ursprüngliche Type dieses Untergestelles bestand aus vier senkrechten Lagerträgern, welche durch einen unteren und einen oberen Rahmen miteinander verbunden waren. Diese Rahmen wurden nun nach allen Richtungen und unter sich versteift. Auf dem oberen Rahmen ruhte der Wagenkasten, der untere Rahmen diente zur Lagerung des Motors.

Für die Untergestellform, soweit das Gestell den Wagenkasten zu tragen bestimmt ist, kommen drei Konstruktionsgrundsätze in Frage, und zwar erstens das vierrädrige Gestell mit festem Radstand; zweitens das sechsräderige Gestell mit Radialbewegung der Achsen (Lenkachse) und drittens das Drehgestell. Die erstgenannte Form hat den Vorzug der Einfachheit und Billigkeit, dient deshalb für die gewöhnlichen Motorwagen. Das zweite System (Lenkachsen) ist teuer und unzuverlässig, weil Wagen dieser Art bei Rückwärtsfahrt oder in

S-Kurven leicht aus den Schienen gehen. Die dritte Anordnung wird bei den sogenannten Drehgestell-Wagen angewandt.

Um den Anforderungen des elektrischen Betriebes zu entsprechen, muss das Wagenuntergestell folgende Bedingungen erfüllen:

1. Es muss das Mindestgewicht haben, welches mit seiner Steifheit und Stärke verträglich ist;

2. die Versteifungen müssen so angeordnet sein, dass das Gestell auch bei den starken Ansprüchen in scharfen Kurven und beim Übergang von der Horizontalen zur Steigung nicht deformiert wird und dass der Neigung des Wagens, sich an den Enden zu senken, entgegengewirkt wird;

3. die Lager müssen öldicht, staubdicht und selbstölend sein, damit sie ein Minimum von Wartung in Anspruch nehmen;

4. die Bremse muss einfach, wirksam und leicht zu regeln sein; die Bremsklötze müssen leicht und schnell ausgewechselt werden können und ihre Stellung darf durch die Federung des Wagens nicht beeinflusst werden;

5. die allgemeine Anordnung des Gestelles muss derart sein, dass man leicht und schnell an die wesentlichen Teile (Motoren, Räder, Lager, Bremsen u. s. w.) gelangen kann, ohne das Gestell teilweise zu demontieren;

6. der Wagenkasten muss auf dem Gestell derart befestigt sein, dass er nach Lösung einiger Bolzen leicht abgenommen werden kann;

7. die Federn müssen derart angeordnet sein, dass sie dem Wagen bei kleiner und grosser Belastung einen sanften Lauf sichern und sowohl das Längs-Schaukeln des Wagens bei ungleicher Lastverteilung oder auch das Querschaukeln beim Eintritt und beim Verlassen scharfer Kurven oder bei Schienenungleichheiten verhindern;

8. Zug und Druck auf Bolzen muss nach Möglichkeit vermindert werden, damit die letzteren nicht lose werden können;

9. es muss eine genaue Ausführung bedacht werden, damit die Erhaltungskosten möglichst klein bleiben;

10. bei dem Drehgestell kann der Radstand gleich der Spurweite sein.

Das Drehgestell verdient unsere besondere Aufmerksamkeit, weil die Wagen dieser Art mehr und mehr Verbreitung gewinnen. Die Bedingungen, welche ein solches Gestell zu erfüllen hat, können in folgende Punkte zusammengefasst werden:

1. Der Wagenkasten muss sich auf seinen Schleifflächen bezw. Drehpunkten mit möglichst kleiner Reibung drehen, d. h. die Drehplatten müssen staubsicher und selbstschmierend sein.

2. Der Schwerpunkt des Drehgestelles muss möglichst tief liegen.

3. Der Radstand im Drehgestell muss so klein als möglich sein.

4. Die auf dem Drehgestell ruhende Last darf sich nicht unabhängig von diesem longitudinal verschieben können und darf in Kurven die äusseren Lager nicht merklich überlasten.

5. Die Abfederung muss derart angeordnet sein, dass man leicht an sie gelangen kann, um sie oder das Drehgestell unter dem Wagen weg zu entfernen.

6. Die Bremsen müssen selbstthätigen Ausgleich haben, sodass die Bremswirkung konstant ist.

7. Die Drehgestelle dürfen unter der Einwirkung der Bremse nicht kippen.

Es bleibt noch eine Form von Untergestellen zu beschreiben, welche bei elektrischen Motorwagen mehr und mehr in Anwendung kommt und manche Vorzüge vor den gewöhnlichen Drehgestellformen bietet. Bei diesen Untergestellen, welche von den Amerikanern Maximum Traction Truck genannt werden, ist der Hauptteil der Last (Wagen und Motor) auf ein Räderpaar gelegt, dessen Räder (die Treibräder) einen grösseren Durchmesser bekommen als die des anderen Radpaares, die Laufräder oder »Faulenzer«, wie sie die Amerikaner nennen; es wird dadurch eine vermehrte nutzbare Reibung für die Fortbewegung und für die Bremsung bewirkt und die Anordnung von vier Motoren überflüssig. Sowohl die Brill Co. wie die Peckham Co. machen von diesem Konstruktionsgrundsatz Gebrauch, das übrigens von der Brill Co. zuerst angewendet worden ist, doch weisen die Ausführungen beider Firmen nicht unerhebliche Unterschiede auf. Die bezeichnete Verschiedenheit der Durchmesser der Treib- und der Laufräder würde keine wesentliche Bedeutung haben, wenn es zweckmässig wäre, die Laufräder stets vorn laufen zu lassen. Denn unter dieser Bedingung werden die Laufräder keine Neigung haben, unter Einwirkung der Bremse aus den Schienen zu springen, vorausgesetzt, dass die Eigenlast der Räder zusammen mit dem auf ihnen ruhenden Lastteil dafür genügt, dass die Laufräder die kleinen Hindernisse der Strecke aus dem Wege räumen. Da dies aber bei den gegenwärtig benutzten Einrichtungen der elektrischen Bahnen nicht der Fall ist, so hat man die Laufräder der beiden Drehgestelle eines Wagens einander zugekehrt, sodass ein Laufräderpaar vor seinen Treibrädern, das andere hinter denselben läuft. Bei den nachlaufenden Laufrädern kann nun unter Umständen die auf ihnen ruhende Last kleiner werden als die Kraft, welche sie beim Bremsen der Treibräder aufwärts treibt, und in diesem Fall

springen sie aus den Schienen; es bedarf daher noch besonderer Vorsichtsmassregeln, welche diesen Vorgang verhüten.

Bei den Gestellen, welche die Hauptlast auf die Treibräder legen, ist aus später angeführten Gründen der Wagenkörper so niedrig an die Treibräderachse gelegt, als es die Konstruktion gestattet, und eine Zusatzstütze auf die Laufräder gesetzt, damit diese daran gehindert werden sich zu heben. Diese Zusatzstütze kommt nur dann zur Wirkung, wenn die Räder zu steigen anfangen, in welchem Falle ein Teil der Last auf sie zu drücken beginnt. Diese Verschiebung der Last ändert sich mit dem Grade der Hebung der

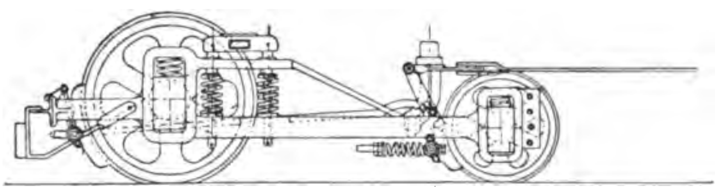


Fig. 359.

Laufräder und geht bis zur gleichen Verteilung der Last auf Treib- und Laufräder als Grenzwert. Man kann auf diese Weise das Steigen der Laufräder bis zu dem Grade der Flanschenhöhe herabdrücken

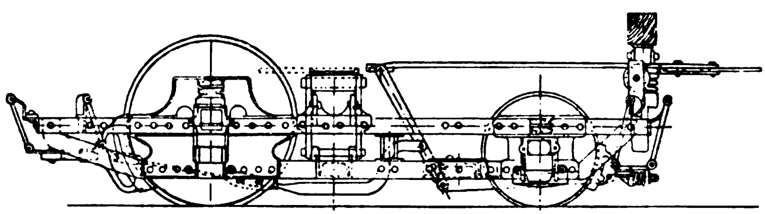


Fig. 360.

und hierdurch die Gefahr der Entgleisung praktisch beseitigen. Selbstverständlich hört für die Zeit, in welcher sich dieser Vorgang abspielt, das Drehgestell auf, ein Maximum Traction Truck zu sein, es wird vielmehr während derselben in seiner Thätigkeit ein gewöhnlicher vierrädriger Truck mit gleichmässig verteilter Last.

In den beiden durch Fig. 359 bis 361 dargestellten Trucks sind sämtliche Stützen gefedert.

Der Motor hängt in der Mitte zwischen beiden Achsen, sodass also seine Last auf beide gleich verteilt ist. Die gesamte Last (Wagen und Motor) nach geläufigen Abmessungen ($6 + 1\,t$) angenommen, ergiebt als Last für die Treibräder 71 % und für die Läufer 29 % der Gesamtlast. Diese Verteilung ist ungünstig, wenn die Treiber vorn laufen, und veranlasst, dass die Hilfsstütze häufig in Thätigkeit

kommt, wodurch zu der schon nicht kleinen Reibung auf der Drehplatte noch die weitere an der Stützplatte kommt.

Zu bemerken ist auch noch, dass das Fehlen eines tragenden Drehzapfens unerwünschte Zug- und Druckwirkungen auf den Wagenkörper ausübt, sofern derselbe nicht, wie durch Fig. 355 dargestellt und beschrieben, diesen Beanspruchungen gemäss konstruiert ist.

Die wagenbaulichen Gründe für die Konstruktion dieses eigenartigen Drehgestelles liegen in den Forderungen für Strassenbahnwagen, den Wagenboden möglichst tief anzubringen, um hohe Auftritte zu vermeiden.

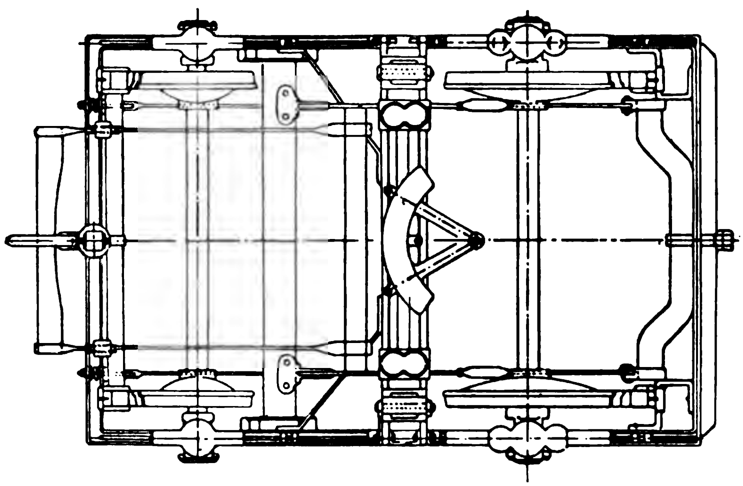


Fig. 361.

Wenn nämlich ein Drehgestell gewöhnlicher Konstruktion, d. h. mit gleichgrossen Rädern sich eindreht, so würden bei kleinen Kurven und niedriger Bauart des Wagenkastenbodens die Radkästen sehr breit werden müssen. Bei der üblichen Anordnung von Längssitzen ist die Unterbringung solcher Radkästen aber unmöglich.

Man kann die Entstehung des Maximum-Trucks auch auf eine Vereinigung zwischen Drehgestell und Lenkachse zurückführen.

Die Lenkachsen für Strassenbahnwagen könnten den Vorteil haben, kleine Kurven mit grossem Achsstand zu durchfahren und würden das Schwanken der Wagenkästen infolge des zulässigen grossen Achsenstandes vollständig verhindern, wenn sie nicht, wie bereits erwähnt, allzusehr zum Entgleisen neigten.

Während beim zweiachsigen Wagen gewöhnlicher Konstruktion das Befahren von 15 *m* Kurven mit einem Achsenstand von höchstens

1,80 *m* möglich ist, kann man erfahrungsgemäss mit Lenkachsen 2,50 *m* Achsstand wählen.

Die Konstruktion der Lenkachsen ist aber bekanntlich wesentlich schwerer durchzuführen als die von Drehgestellen, und die Betriebsführung von Drehgestellwagen gestaltet sich günstiger, als die von Lenkachsen.

Für elektrische Motorwagen sind Lenkachsen nicht zur Anwendung gelangt, dagegen für Anhängewagen mit gutem Erfolge.

Das Maximum-Drehgestell kann eigentlich als eine ungekuppelte Lenkachse betrachtet werden, weil dem Maximum-Truck einige Eigenschaften fehlen, welche das gewöhnliche Drehgestell bevorzugen.

Aus der Anordnung des Drehpunktes über der grossen Achse des Maximum-Trucks lässt sich die Ähnlichkeit mit der Anordnung der Lenkachse erkennen, während die Druckverteilung auf beide Achsen wieder an das Normaldrehgestell erinnert.

Wenn es nun gelingt, ein Drehgestell nach Art des Maximum-Trucks mit vollständig gleichmässiger Lastverteilung bei Belassung des Drehpunktes über der grossen Achse zu konstruieren, so bringt man die Vorzüge der Lenkachsen mit denen des Drehgestelles zusammen.

Das kleine Rad des Maximum-Trucks ist mit seiner Grösse an die Verhältnisse unter den Wagenrahmen gebunden. Dasselbe muss mit Berücksichtigung der Federung des Wagenkastens und der Durchbiegung der Federn bei der Volllast so klein sein, dass es unter den Rahmen des Wagenkastens frei durchbewegt werden kann, ohne jemals denselben zu berühren. Es ergiebt dies einen Raddurchmesser von 50 bis höchstens 60 *cm*. Diese Achse lässt sich durch einen Elektromotor nicht antreiben.

Die Praxis hat gezeigt, dass bei 1/4 Belastung des kleinen Radsatzes die Entgleisungsgefahr in den Weichen und Kreuzungen noch zu gross ist, sodass man allmählich zu einer Mehrbelastung der lenkenden Achse übergegangen ist.

Der Drehpunkt des Maximum-Trucks wird durchweg nur als führender, nicht als tragender ausgebildet, sodass es also gleichgültig ist, an welcher Stelle die Tragflächen angreifen.

Wenn Tragfläche und Drehpunkt nicht zusammenfallen, müssen die Tragpunkte eine grössere Bewegung machen, als im andern Fall und hierauf ist bei der Konstruktion durch Einführung von Rolllagern Rücksicht genommen.

Die Anwendung des Maximum-Trucks beschränkt sich demnach auf diejenigen Kleinbahnen, die auf die Ausnutzung der Adhäsionslast wenig Rücksicht zu nehmen haben, und verbietet sich da, wo

die sämtlichen Vorzüge des elektrischen Betriebes zur Geltung kommen müssen, als da sind schnelles Anfahren und Überwindung hoher Steigungen.

Für diese Fälle wird man darauf zukommen müssen, die Druckverteilung und den Antrieb auf beide Achsen gleichmässig zu verlegen, was nicht unbedenkliche Schwierigkeiten zur Folge hat. Der Antrieb der kleinen Achse kann z. B. nur mittels Kette von der grossen Achse aus erfolgen.

Man sieht also, dass der Maximum-Truck oder nennen wir ihn besser das Lenkachsen-Drehgestell nur eine beschränkte Anwendung finden kann, und dass es von Fall zu Fall den Verhältnissen im Bau und Betriebe angepasst werden muss.

Einige Ausführungsbedingungen für den Bau von Untergestellen sind die folgenden:

1. Das Gestell:

Dasselbe ist mit Diagonal- und Eckversteifungen so zu versehen, dass einseitige Beanspruchungen die rechteckige Form nicht beeinträchtigen können. Die Träger dürfen an keiner Stelle, selbst bei 100 % iger Personenüberlastung eine bleibende Formveränderung hinterlassen. Die Achsgabelöffnungen in den Trägern müssen gegen Aufreissen oder Zusammendrücken geschützt werden.

2. Das Bremsgestänge:

Alle für das Bremsgestänge benutzten Zugstangen müssen mit geschweissten Ösen versehen sein.

3. Die Kuppelung:

Die mit Zug- und Druckfeder versehene Pufferstange hat ihren Drehpunkt am Untergestell. Für die in Betracht kommenden Zugkräfte soll die Feder genügende Elastizität besitzen. Die Mitte des Puffers muss ca. 500 *mm* über der Schienenoberkante liegen. Der Angriffspunkt der Kuppelung ist möglichst nahe dem geometrischen Mittel der ziehenden bezw. gezogenen Achse zu legen.

4. Die Wagenfedern:

Die Wagenfedern sind auf jeder Seite durch ein Flacheisen zu verbinden und durch dasselbe mit dem hölzernen Längsbalken des Wagenuntergestells mittels Mutterschrauben zu befestigen.

Die gesamte Federkraft ist so zu bemessen, dass das unangenehme Wippen der Wagen bei jeder Belastung vermieden ist.

5. Verbindung zwischen Untergestell und Kasten:

Die Verbindung des Untergestells mit dem Wagenkasten muss in allen Teilen derartig sein, dass der Wagenkasten nur nach dem Lösen von durchgehenden Mutterschrauben sich abheben lässt ohne dass irgend welche Teile, Leitungen u. s. w. zerstört werden.

6. Bahnräumer und Seitenschutz:

Jeder Bahnräumer besteht aus einem im Kreisbogen oder im Winkel hergestellten Holz- oder Blechschutz, welcher dicht über Schienenoberkante hinabreicht. Die beiden Bahnräumer werden durch einen seitlichen Blechschutz ausserhalb der Räder verbunden.

An den Stellen, an denen die Bahnräumer mit dem Seitenschutz zusammenstossen, sind starke Versteifungen anzubringen.

Die unterste Kante ist mit Halbrund-Eisen einzufassen.

Die Entfernung der Bahnräumer von den Rädern und Bremsklötzen soll noch die Anbringung kleinerer Schienenreinigungsapparate an der Rückseite der Bahnräumer gestatten.

7. Anstrich:

Sämtliche Eisenteile sind mit Bleimennige-Anstrich zweimal zu grundieren und mit gutem Ölfarben-Anstrich zweimal zu überziehen.

Einige, aus den vorstehenden Konstruktionsgrundsätzen hervorgegangene, in der Praxis zur Anwendung gekommene Untergestelle seien nachfolgend aufgeführt.

Ein sehr häufig angewandtes zweiachsiges Untergestell zeigt Fig. 362. Dasselbe besteht hauptsächlich aus zwei aus Stahlblech gepressten Längsträgern mit ⊔-förmigem Querschnitte, welche gabelförmig die beiden Achslager umfassen. Die beiden Längsträger sind durch Querverbindungen aus ⊔-Eisen zusammengehalten. Der Federnstand kann hierbei ohne weiteres grösser sein als der Radstand; die Aufhängung der Bremsklötze, sowie überhaupt diejenige der ganzen Bremsvorrichtung, lässt sich leicht an den äusseren Querträgern bewerkstelligen. Eine mittlere mit Dreieckversteifung einzusetzende Querverbindung dient zu gleicher Zeit zur Aufhängung der Motoren. Vorn und hinten am Untergestell sind dachförmige Schienenräumer

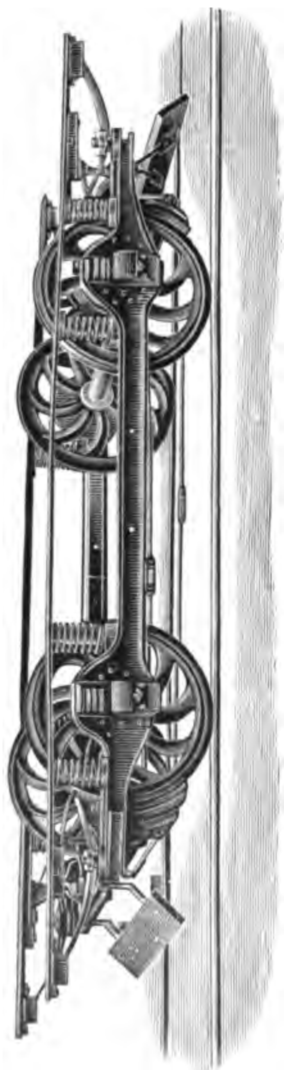


Fig. 362.

angebracht, um etwa auf dem Gleise liegende Gegenstände bei Seite zu schieben, damit dieselben sich nicht bei der Fahrt zwischen die Motoren und die Erdoberfläche klemmen können. Die Motoren reichen mit ihrem tiefsten Punkte oft auf 60—100 *mm* über Schienenoberkante herab. Die Federung zwischen Wagenkasten und Untergestell geschieht mittels acht kräftiger Spiralfedern. An den Enden der Längsträger sind ausserdem noch sogenannte Blattfedern angebracht. Die Blattfedern haben zwei Vorzüge, erstens sind dieselben äusserst wirksam gegen Horizontalverschiebungen und nehmen Stösse auch in genannter Richtung leicht auf; zweitens besitzen sie eine hemmende Federung, indem die einzelnen Blätter während des Federns unter ziemlichem Druck aufeinander reiben, es kommt deshalb die Feder nach kurzer Zeit wieder zur Ruhe. Traversen gegen Horizontalverschiebungen können daher hier wegfallen.



Fig. 363.

Zur Vermeidung gepresster Bleche hat man auch genietete Rahmen verwendet.

Fig. 363 zeigt eine elegante und dabei äusserst vorteilhafte Form der Längsträger aus zusammengenietetem Flacheisen. Der Raum für die Blattfedern ist von selbst gegeben. Die in der Mitte angeordnete Blattfeder wird jedoch ein Wiegen des Wagens in der Längsrichtung unterstützen und könnte besser wegfallen.

Unter den Lagern ist der Träger unterbrochen, um die Achse leicht herausnehmen zu können.

Unter Verwendung von Stahlguss für auf Biegung beanspruchte Untergestellteile lassen sich gefällige Formen darstellen, wie Fig. 364 zeigt. Dieses Gestell eignet sich jedoch nur für sehr kurze Wagen, da es die Unterstützungspunkte des Wagenkastens nicht viel über die Achse hinaus verlegt. Da-

durch besitzt es den Vorzug, keine unnötigen Hebelarme zu schaffen, die die Konstruktionen schwer und teuer machen. Die Spiralfederanordnung bedingt horizontalwirkende Verstrebungen mit dem Wagenkasten, wie solche in der Mitte und an den Enden ersichtlich sind. Dieselben sind an einem eisernen Verbindungsträger befestigt, welcher zum Wagenkasten keine Bewegung machen kann.

Das Union-Untergestell Fig. 365 besteht aus Stahlgusslagern, Stahlgussachsgabeln und doppelter Schneckenfederung durch 16 Federn. Der Verbindungsrahmen wird nur durch Winkeleisen gebildet und ist in der Mitte durch ein U-Eisen, welches zugleich das freie Motorende trägt, versteift. Die Untergestelle Fig. 364 u. 365 werden von der »Bergischen Stahl-Industrie« in Remscheid fabriziert.

Fig. 366 zeigt ein Untergestell der Aktien-Gesellschaft vormals H. Meinecke-Breslau.

Bei dieser Konstruktion ist ganz besonderer Wert auf ruhigen Gang, eine gute Abfederung des Wagenkastens, eine schnell und sicher wirkende Bremse mit zweckmässigen Vorrichtungen zum schnellen Nachstellen und Auswechseln der Bremsklötze, sowie auf leichte Auswechselbarkeit aller sich abnutzenden Teile gelegt worden.

Der Rahmen besteht aus zwei kräftigen Längsträgern, die in äusserst solider und fester Weise durch Quertraversen und Dreiecksverband miteinander verbunden sind, sodass er die vielen Stosswirkungen,

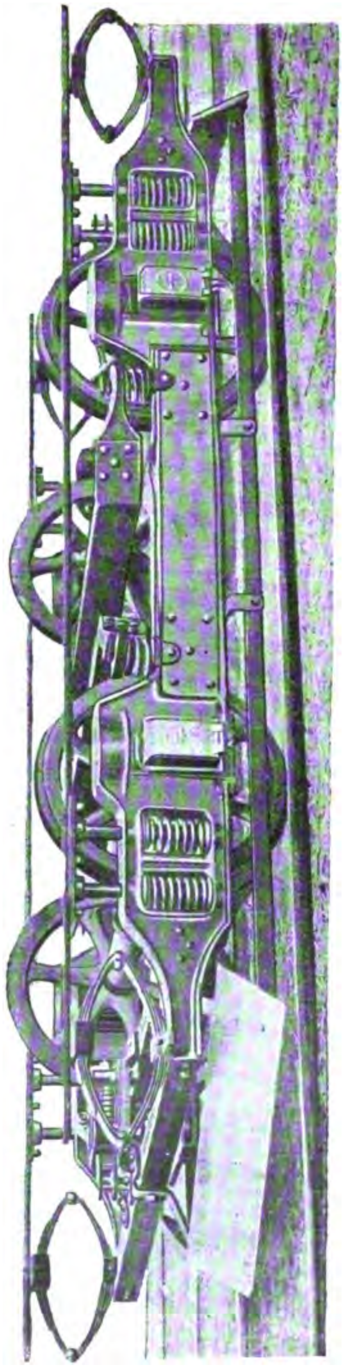


Fig. 364.

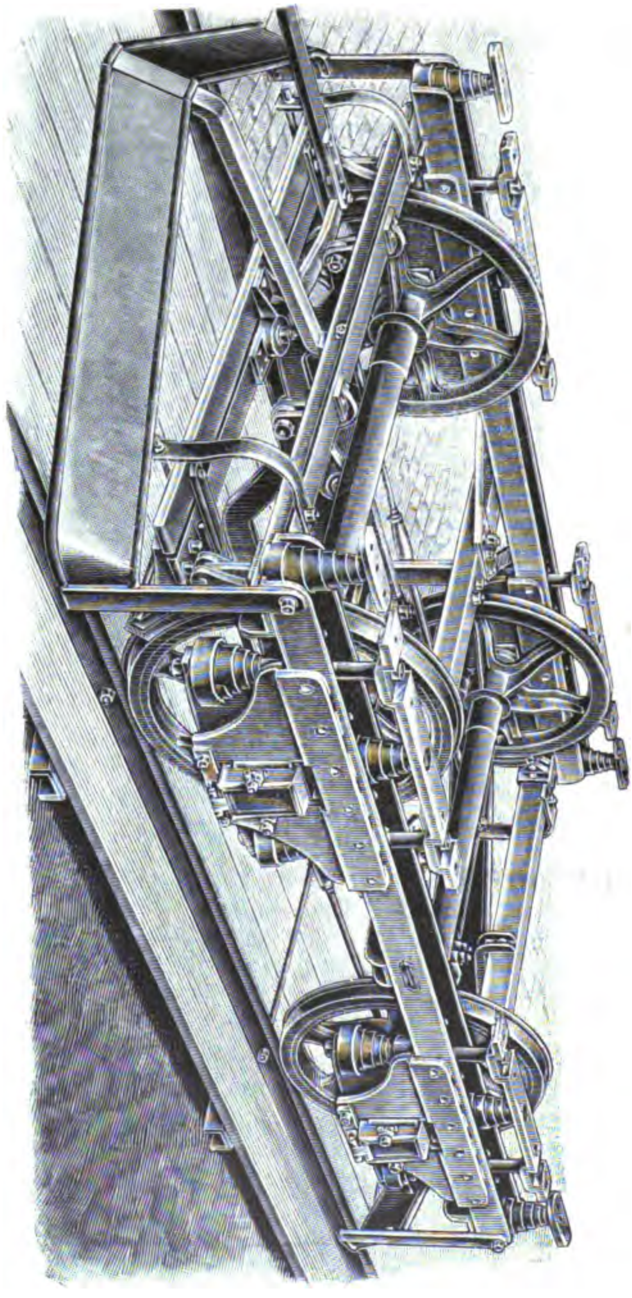


Fig. 365.

die beim motorischen Betriebe auftreten, ohne zu leiden aufnehmen kann.

Die Längsträger werden aus je zwei aus Stahlguss hergestellten Achslagerhaltern gebildet, welche durch eine Anordnung von je drei kräftigen Flacheisen durch äusserst feste Vernietung miteinander verbunden sind. Diese Art der Verbindung der Achslagerhalter gestattet ohne Schwierigkeiten jeden Achsstand, der gewünscht wird, herzustellen.

Die Achslager sind aus Stahlguss und mit sehr breiten Flächen in den Achslagerhaltern geführt, sodass eine Abnutzung an diesen Flächen möglichst vermieden ist.

Die aus Lagerbronze hergestellten Achslagerschalen haben grosse Lagerflächen, um den Lagerdruck pro Flächeneinheit möglichst gering zu halten, sodass ein Warmlaufen bei sachgemässer Bedienung ausgeschlossen ist. Die Lagerschalen lassen sich, ohne dass der Ausbau irgend eines Teiles des Untergestells notwendig ist, leicht auswechseln, sodass durch eine derartige Arbeit nur wenig Zeit für den Betrieb verloren geht.

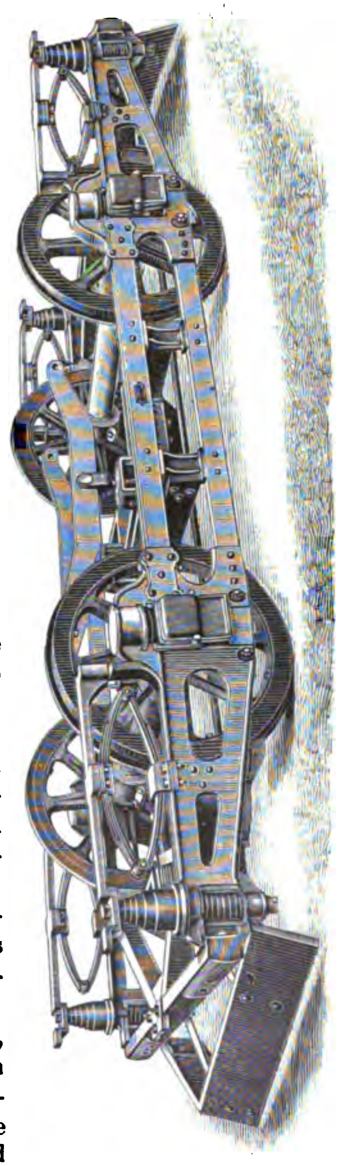


Fig. 366.

Die Federung ist eine doppelte; erstens wird der Untergestellrahmen gegen die Achslager durch Doppelspiralfedern, zweitens der Wagenkasten gegen ersteren durch Blatt- und Kegelfedern abgefedert.

Einer schwankenden oder galoppierenden Bewegung des Wagenkastens wird durch folgende Mittel entgegengewirkt:

1. Durch den grossen Federstand, da die Federn ganz an den Enden der Längsträger angebracht sind, sowie durch die verschiedene Elastizität und Schwingungsdauer der beiden Federsysteme.

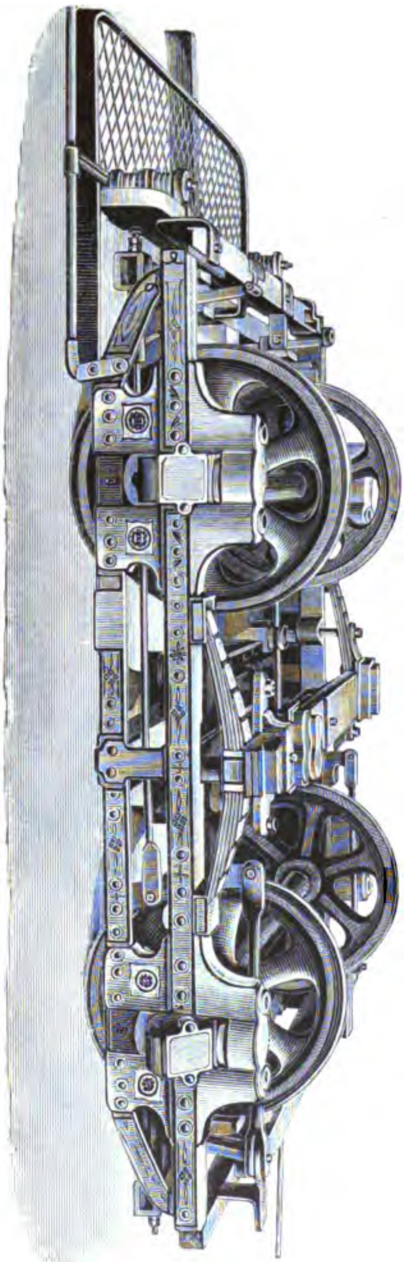


Fig. 367.

2. Durch die innere Reibung der zur Anwendung gelangten Doppelblattfedern.
3. Durch Gegenfedern, welche in Aussparungen an den Enden der Längsträger in gespanntem Zustande eingesetzt sind. Diese Federn werden beim Eintreten von Schwankungen von oben nach unten bezw. von unten nach oben zusammengedrückt und vernichten so rasch die Energie der Schwingungen.

Durch diese Mittel wird ein durchaus ruhiger Gang der Wagen, auch bei schneller Fahrt, erzielt.

Die Bremse ist so konstruiert, dass jeder der vier Bremsklötze mit derselben Kraft an die Laufkränze der Räder gedrückt wird, ihre Wirkung ist schnell und sicher.

Besondere Vorzüge der Bremse sind die leichte Auswechselbarkeit der Bremsklötze, welche lediglich auf der Lösung eines Keiles beruht und in kurzer Zeit vollzogen werden kann; ferner die Nachstellvorrichtung, welche nicht, wie gewöhnlich, zwischen den Bremsaufhängungen, sondern ausserhalb derselben an leicht zugänglicher Stelle liegt und daher sowohl durch ihre Eigenart das Nachstellen der Bremsklötze jeden Augenblick ohne Handwerkszeug und ohne wesentlichen Zeitverlust gestattet, als auch durch ihr Gewicht eine Durchbiegung der Bremszugstangen nicht hervorbringen kann.

Die Führung des Wagenkastens gegen das Untergestell geschieht durch die vier oberen Federplatten, welche einerseits mit den Tragfedern und anderseits mit dem Wagenkasten durch Schraubenbolzen äusserst fest verbunden werden. An den nach der Mitte des Untergestells liegenden Enden sind Führungsleisten vorgesehen, welche die Hauptträger des Untergestells umfassen. Durch diese Vorkehrung wird der Horizontalschub des Wagenkastens gegen das Untergestell, welcher beim Anfahren, Bremsen oder Durchfahren von Kurven etc. auftritt, unmittelbar auf letzteres und nicht erst auf die Blattfedern übertragen, was eine grössere Haltbarkeit derselben gewährleistet.

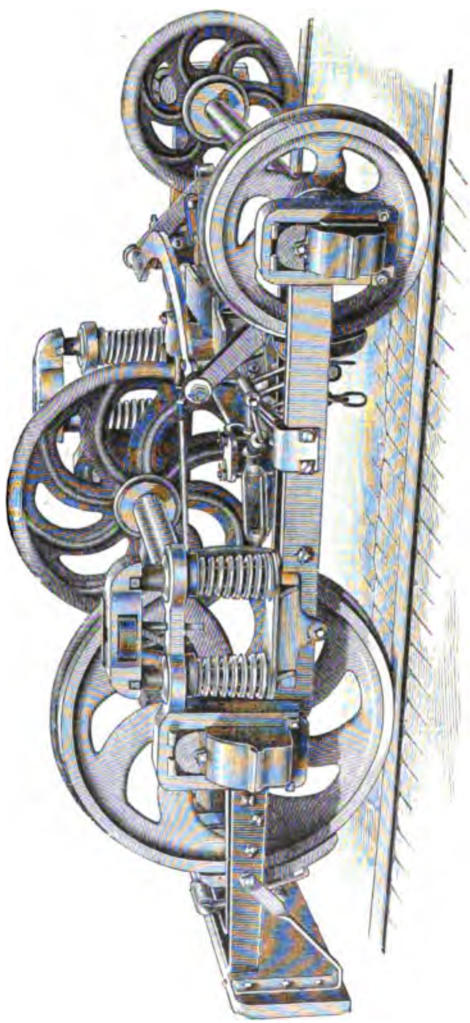


Fig. 368 a.

Eine Drehgestellkonstruktion mit Mittelzapfen wird durch Fig. 367 dargestellt. Der auf Blattfedern ruhende Querträger trägt dicht neben den Federn ein Gleitstück, auf welchem ein entsprechender Kastenquerträger schleift. Der Mittelzapfen hat demnach nur noch die Aufgabe zu führen und ist unbelastet. Sollen beide Untergestelle von einem Wagenperron aus zu gleicher Zeit gebremst werden, so macht die Durchführung des Bremsgestänges einige Schwierigkeit, da man dasselbe nicht allein um den Mittelzapfen, sondern auch um den Motor herum führen muss. In dieser Beziehung zeigen die folgenden Untergestelle (Fig. 368 a und 368 b) günstige Konstruktionen. Da ein Mittelzapfen hier gänzlich fehlt, müssen die über den Spiralfedern liegenden Rollenträger die

Führung und das Tragen zugleich übernehmen. Die Unterbringung des Motors wird durch keinen Querträger behindert. Die Bremszugstange

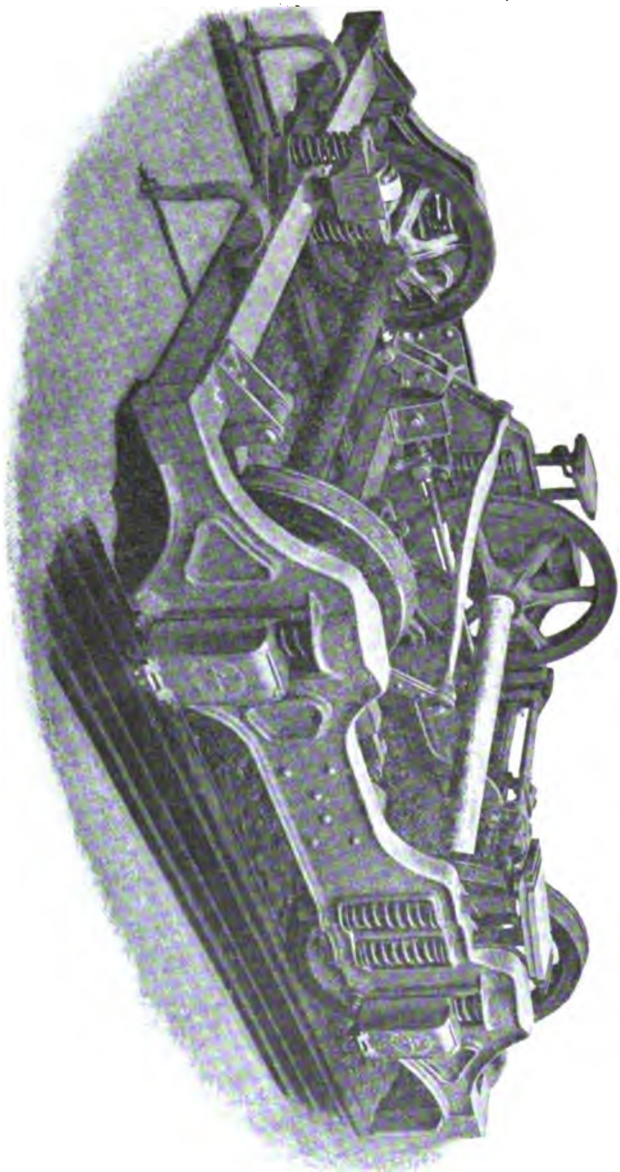


Fig. 368b.

greift an einem Kreissegment mittels geeigneter Rolle an und beherrscht so das Bremsgestänge in jeder eingedrehten Stellung des Trucks.

Einen interessanten Aufbau des Führungszapfens mit den Tragflächen zeigt Fig. 369. Der Motor hängt hier an der, dem Laufrad entgegengesetzten Treibradseite, weil an der sonst üblichen Stelle kein Platz vorhanden ist. Durch Wahl des Druckpunktes kann man die Laufräder entsprechend belasten, während sie durch die Aufhängung der Motors entlastet werden.

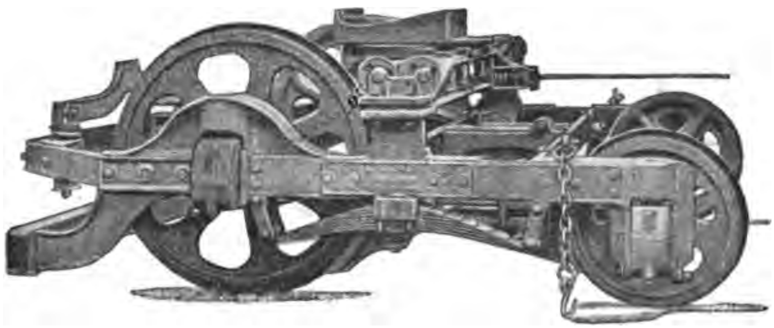


Fig. 369.

c) Achsen.

Das Achsenmaterial ist Tiegelgussstahl oder Martinstahl. Beide Stahlsorten eignen sich vortrefflich und sind ausschliesslich in Verwendung. Nach Bach sollen Eisenbahnachsen mindestens folgende Zahlen aufweisen:

a) Achsen aus Tiegelgussstahl
  55 *kg* Bruchfestigkeit für 1 *qmm* Querschnitt,
  20 % Dehnung (auf 200 *mm* Länge gemessen),
  35 % Querschnittsverminderung.

b) Achsen aus Martinstahl.
  50 *kg* Bruchfestigkeit für 1 *qmm* Querschnitt,
  20 % Dehnung (auf 200 *mm* Länge gemessen),
  30 % Querschnittsverminderung.

Eine im Strassenbahnbetriebe gebrochene Achse aus Kruppschem Stahl ergab bei der Prüfung:

50,3 *kg* Bruchfestigkeit für 1 *qmm* Querschnitt,
25,4 % Dehnung,
54,4 % Querschnittsverminderung.

$$\left(\begin{array}{l}\text{Kontraktion} = \dfrac{a - b}{a} \text{ wobei} \\ a = \text{Querschnitt vor dem Zerreissen} \\ b = \quad » \quad \text{nach} \quad » \quad »\end{array}\right)$$

Für die Bestimmung der Qualität sind Festigkeit und Querschnittsverminderung (Zähigkeit) erforderlich, und zwar soll die Summe bei Tiegelgussstahl mindestens 95, bei Martinstahl mindestens 90 betragen.

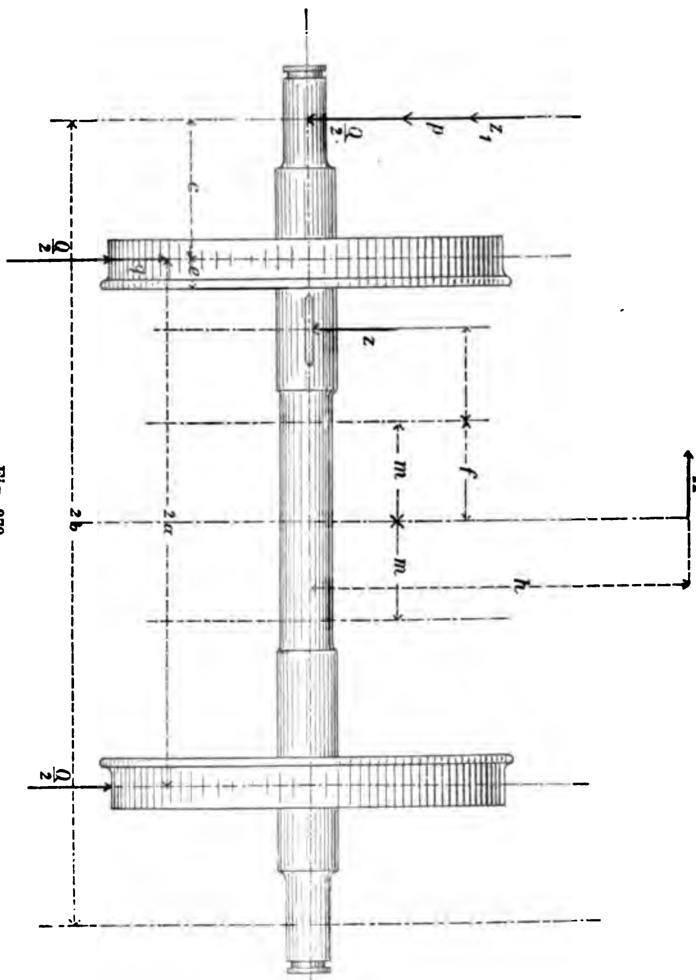


Fig. 370.

Thatsächlich besitzt unser Achsenmaterial noch höhere Werte, sodass mit einer absoluten Festigkeit bis zu 60 *kg*, mit einer Dehnung von 25 % und einer Querschnittsverminderung von 55 % gerechnet werden kann.

Unter diesen Beanspruchungen berechnet sich der Durchmesser der Radachsen zu 90—110 *mm*. Da der Kräfteangriff durch die Aufhängung des Motors und durch das Dreh- und Biegungsmoment des Zahnradgetriebes die Achse in einer ungewöhnlichen Weise belastet, sei hier in grossen Zügen die Durchrechnung eines meterspurigen Radsatzes beigefügt.

Statische Berechnung der Achse eines zweiachsigen Wagens, wenn dieselbe in der durch Fig. 370 dargestellten Verteilung belastet ist mit:

1. Gewicht des Wagens ohne Räder und Achsen . .	3200 *kg*
2. » der beiden Motoren mit Übertragungsmechanismus	1800 »
3. Gewicht der Schalter, Stromabnehmer, Apparate .	200 »
4. Nutzlast, bestehend aus 32 Personen (einschliesslich Führer und Schaffner) je 75 *kg*	2400 »
ohne Achsen und Räder in Summa	7600 *kg*
d. h. ruhende Achsbelastung	3800 »

Zu dieser Belastung kommen die seitlichen Stösse hinzu, welche durch die Schwankungen, die Centrifugalkraft und den Winddruck entstehen. Nach Wöhler ist bei Hauptbahnen diese als Horizontalkraft auftretende Belastung = 0,386 der Vertikallast anzunehmen. In Anbetracht der kleinen Kurvenradien und der schlechteren Gleislage bei Strassenbahnen kann dieser Wert auch hier Geltung behalten, was mit den Beschlüssen der Techniker-Versammlung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen übereinstimmt.

$H = 0{,}386\ Q$ greift am Schwerpunkt des Wagens, welcher sich in der Entfernung h von der Achsmittellinie befindet, an und verursacht einen Lagerdruck $p = H \frac{h}{2b}$ und einen Raddruck $q = H \frac{h+r}{2a}$.

Da $Q = 3800$ *kg* ist, wird $H = 1467$ *kg*.

Wird $h = 750$ *mm*; $r = 390$ *mm* (Halbmesser des Rades); $2a = 1050$ *mm* (bei Meterspur); $2b = 1600$ *mm* angenommen, so wird

$$p = 687{,}5\ kg;\ q = 1593\ kg.$$

Durch den Druck der Bremsbacken erfolgt eine weitere Belastung der Achse. An der Bremskurbel möge mit 50 *kg* gedreht werden. Die Übersetzung bis zum Backen sei 50 : 1; alsdann ist der Bremsdruck Br für jede Achse $50 \cdot 50 = 2500$ *kg*, für jedes Rad 1250 *kg* in horizontaler Richtung. Ist der Bremsklotz um 30° gegen die Horizontale geneigt, was geschieht, um den Wagen nicht aus der Lagerschale zu heben, so ist $Br = \frac{1250}{\cos 30^0} = \frac{1250}{0{,}866} = 1440\ kg$.

Das Biegungsmoment M_1 des Bremsdruckes ist demnach 1440 (c + e) — 1440 e = 1440 c oder wenn c = 275 *mm* ist $M_1 = 1440 \cdot 275 =$ 396 000 *kg/mm* und wirkt unter 60° gegen die Vertikale. Durch die Reibung zwischen Bremsklotz und Rad wird ferner bei 1250 *kg* und 0,25 Reibungskoëffizient eine Bremskraft von 0,25 · 1250 = 312,5 *kg* erzeugt, für jeden Radsatz mithin 2 × 312,5 = 625 *kg*.

Die Rotation des Ankers übt bei der Bremsung einen Zahndruck von $625 \cdot \frac{390}{r_a}$ aus, d. h. wenn r_a = Halbmesser des Achsenzahnrades = 276 *mm* ist, $z = 625 \cdot \frac{390}{276} = 885$ *kg* auf das Ankertriebrad aus. Das Drehmoment kann vernachlässigt werden, jedoch wirkt der Vertikaldruck auf die Lagerschale, welche dem Zahnrad zunächst liegt und mit z_1 bezeichnet ist. Mit f ist die Entfernung der Zahnradmitte von der Achsmitte gegeben und ist, wie die anderen hier gewählten Masse, einer praktischen Ausführung entnommen.

$$z_1 = \frac{z \cdot (b + f)}{2\,b} = \frac{885 \cdot (800 + 385)}{1600} = 650\,kg.$$

Das Biegungsmoment für den gefährlichen Achsquerschnitt ist nunmehr:

$$M_2 = \left(\frac{Q}{2} + p + z_1\right)(c + e) - \left(\frac{Q}{2} + q\right)e.$$

Da $Q = 3800$ $\begin{matrix} p = 687{,}5 \\ q = 1593 \end{matrix}$ $\begin{matrix} z_1 = 650 \\ c = 275 \end{matrix}$ $r = 390$ *mm* ist,

und wenn e = 60 *mm* angenommen werden kann, so ist

$$M_2 = \left(\frac{3800}{2} + 687{,}5 + 650\right)(275 + 60) - \left(\frac{3800}{2} + 1593\right)60$$
$$= 3237{,}5 \cdot 335 - 3493 \cdot 60 = 1\,284\,552\ kg/mm.$$

Die unter 60° zu einander gerichteten Momente bilden das resultierende Moment M_3.

$$M_3 = \sqrt{M_1{}^2 + M_2{}^2 + 2\,M_1\,M_2 \cos 60^0}$$
$$= \sqrt{396\,000^2 + 1\,284\,552^2 + 2 \cdot 396\,000 \cdot 1\,284\,552 \cdot 0{,}5}$$
$$= 1000\sqrt{396^2 + 1\,284\,552^2 + 2 \cdot 396 \cdot 1\,284\,552 \cdot 0{,}5}$$
$$= 1000\sqrt{156\,816 + 1\,650\,074 + 508\,683}$$
$$= 1000\sqrt{2\,315\,573} = 1\,530\,000\ kg/mm$$

Die Spannung im gefährlichen Querschnitt soll z. B. nach den Vorschriften der preussischen Staatsbahnen für Güterwagenachsen eine Beanspruchung von 14,5 *kg/mm* nicht überschreiten, sodass sich hier ein Durchmesser der Achse von

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_8}{\pi \cdot S}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1\,530\,000}{3{,}1416 \cdot 14{,}5}} = \sqrt[3]{1\,075\,000} = 102{,}5\,mm$$

ergiebt.

Zwischen den Rädern ist die Achse durch die Auflagerpunkte des Motors belastet. Wenn $2\,m = 395\,mm$ ist, so ergiebt sich analog obiger Momentengleichung für den gefährlichen Querschnitt

$$M_4 = \left(\frac{Q}{2} + p + z_1\right)(b - m) - \left(\frac{Q}{2} + q\right)(a - m)$$

$$M_4 = \left(\frac{3800}{2} + 687{,}5 + 650\right)(800 - 197{,}5) - \left(\frac{3800}{2} + 1593\right)(525 - 197{,}5)$$

$$M_4 = 3237{,}5 \cdot 602{,}5 - 3493 \cdot 327{,}5 = 1\,950\,593{,}75 - 1\,243\,957{,}5$$

$$M_4 = 706\,636{,}25.$$

Das Moment des Bremsdruckes wird hier:

$$M_5 = 1440\,(b - m) - 1440\,(a - m)$$

$$M_5 = 1440\,b - 1440\,m - 1440\,a + 1440\,m = 1440\,(b - a) = 1440 \cdot 275$$

$$M_5 = 396\,000\ kg/mm.$$

Das resultierende Moment M_6 wird demnach:

$$M_6 = 1000\,\sqrt{396^2 + 706^2 + 2 \cdot 396 \cdot 706 \cdot 0{,}5} = 1000\,\sqrt{934\,828}$$

$$M_6 = 967\,000\ kg/mm.$$

Der Durchmesser der Achse zwischen den beiden Rädern ergiebt sich demnach bei Meterspur zu:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 967\,000}{3{,}1416 \cdot 14{,}5}} = \sqrt[3]{680\,000} = 88\,mm$$

Mit Rücksicht auf einzudrehende Nuten für die seitliche Lagerführung und für Herstellung der Keil-Längsnuten ist diese günstigere Beanspruchung in der Mitte sehr erwünscht, wobei vorausgesetzt wird, dass man die Achse von vornherein in der Mitte ebenso stark macht wie an den Achsschenkeln.

d) Räder und Bandagen.

Auf die Achsen werden die Räder mit hydraulischem Druck aufgepresst.

Es kommen sowohl Stahlgussräder, die in den Speichen bezw. in der Scheibe weicheren Guss haben, und deren Bandagen gehärtet sind (Laufdauer 50 000 *km*), in Anwendung, als auch Räder mit schmiedeeisernem Sterne und Stahlbandagen. Die ersteren sind billiger, die letzteren besser. Wenn Laufkranz und Spurkranz der Stahlgussräder abgenutzt sind, kann man diese Räder ebenfalls ban-

dagieren und werden sie alsdann gleichwertig mit den schmiedeeisernen Sternrädern. Auch Räder aus Nickelstahl haben vielfach Anwendung gefunden.

Der äussere Durchmesser der Lauf- und Treibräder schwankt zwischen 770 und 840 *mm*. Die Bandagen besitzen eine spezifische Festigkeit von 75 *kg* bei Martinstahl und 80 *kg* bei Krupp'schem Spezialstahl, ihre Breite schwankt zwischen 70 und 80 *mm* und ihre Dicke ist 50—60 *mm*. Die Abnutzung der Bandagen kann bei Motorwagen bis auf 15 *mm* Dicke, bei Anhängewagen bis auf 10 *mm* erfolgen.

Die Radreifen (Bandagen) werden warm auf die Radkörper aufgezogen und ihre Befestigung häufig noch durch eingezwängte Sprengringe oder Schrauben gesichert.

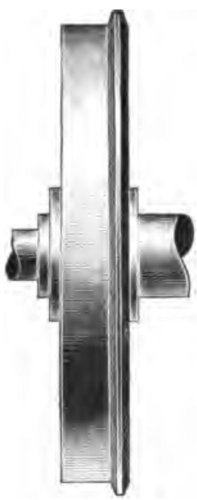


Fig. 371.



Fig. 372.

Der Spurkranz befindet sich meist an der Innenseite des Rades, wie dies Fig. 371 darstellt.

Die guten Eigenschaften, welche das Rad mit doppeltem Laufkranz besitzt, sind bisher noch nicht genügend berücksichtigt worden. Die einzige Bahn, welche mit derartigen Rädern versehen ist, ist die Budapester Stadtbahn, bekanntlich eine Strassenbahn mit meist unterirdischer Stromzuführung in der inneren Stadt. Die Anwendung dieses Rades, welches durch Fig. 372 dargestellt ist, wurde bedingt durch Festigkeitsgründe der Kanalkonstruktion beim Durchfahren von Weichen und schiefen Kreuzungen des auf den unterirdischen Kanalböcken gelagerten Gleises. Die Bewährung des Rades mit Doppellaufkranz in Budapest legt die Frage nahe, ob dieses Rad

nicht noch weitere gute Eigenschaften besitzt. Herstellungsschwierigkeiten und Unterhaltungserschwernisse werden durch diese Form der Radbandage nicht hervorgerufen.

Diese Bandagen sind ohne weiteres geeignet, auf jedem Schienensysteme (Rillenschiene, Zwillingsschiene) zu fahren. Bei allgemeiner Einführung würde es sich jedoch empfehlen, die Schienenprofile etwas abzuändern, damit die Materialausnutzung der Schiene eine rationellere wird.

Durch dieses Rad gelangt die Zwillingsschiene zu ganz besonderem Ansehen, da die Überbrückung des Schienenstosses äusserst günstig durchgebildet werden kann. Die einzelnen Schienen können einander bis zu ihrer halben Länge überdecken, wodurch dem Rade ein vollkommen stossfreies Überfahren der Stossverbindungen gesichert wird.

Ferner können mit dem Doppelkranzrad Weichenherzstücke und schiefe Kreuzungsherzstücke stossfrei überfahren werden, weil der eine Radkranz noch die eine Lauffläche berührt, während der andere sich über dem Einschnitt befindet, und umgekehrt. Dieselbe Rolle, die heute beim Herzstück dem Spurkranz zufällt, wird nunmehr zweckentsprechender dem zweiten Laufkranz übertragen.

e) Lager.

Die Achsschenkel lagern in den Lagerbuchsen auf bronzenen Schalen, welche den Schenkel nur mit ca. $^1/_6$ umfassen. Für reichliche Ölzuführung ist durch Schmierpolster Sorge zu tragen. Die Ausbildung der Buchsen gleicht derjenigen an den Staatseisenbahnen. Fettschmierung wendet man an dieser Stelle selten an.

Auf staubsichere und anhaltende Abdichtung ist grosse Sorgfalt zu verwenden.

In den letzten Jahren ist das Korbuly-Lager zu einiger Bedeutung gelangt. Diesem liegt der Gedanke zu Grunde, jede wie immer geartete Vorrichtung, welche das Schmieröl dem Achsschenkel zuführen soll, ganz wegzulassen und das Schmieröl zu diesem direkt gelangen zu lassen. Bei dieser Konstruktion ist also der Achsschenkel samt Lagerschale vollständig von Öl umgeben, er schwimmt gewissermassen darin. Es ist leicht einzusehen, dass bei einem Lagergehäuse, welches vollständig mit Öl gefüllt ist, und in welchem also dieses auch oberhalb des Schenkels samt Lagerschale steht, der schwierigste Teil in der Lösung der Frage darin lag, die seitliche Öffnung des Lagergehäuses, bei welcher die Achse hineinragt, so dicht herzustellen, dass ein Abfluss des Öles sicher und verlässlich verhindert wird.

Das eigentliche Lagergehäuse besteht nicht wie bisher aus einem Ober- und Unterteil, sondern aus einem Stück. Auch die Lagerschale weicht von der bisherigen Konstruktion ab. Sie besteht ebenfalls aus einem Stück und umgiebt den ganzen Achsschenkel; sie ist mit einem 1 *mm* grösseren Durchmesser, als jener des Achsschenkels, ausgedreht und ist mit einer genügenden Anzahl von Löchern versehen.

Dass hier eine geschlossene Lagerschale den Achsschenkel vollständig umgiebt, hat den nicht zu leugnenden Vorteil, dass das Schmiermaterial in derselben verbleibt, während bei der Konstruktion, bei welcher die Lagerschale den Schenkel nur teilweise umgiebt, die Schale mit ihren Rändern infolge des starken Achsdruckes das Schmiermaterial vom Schenkel geradezu abstreift.

Eigenartig und gleichfalls neu ist die seitliche Dichtungsvorrichtung. Zwei aus Leder gepresste, ineinanderschiebbare und zusammendrückbare Manschetten enthalten im Innern durchlochte Lederstücke; das Ganze bildet hiernach eine Art hohlen Ring, der sich bei einem Zusammenpressen infolge seiner Elastizität und Nachgiebigkeit sowohl um die Achse, wie auch an die Seitenwände der Dichtungsnut dicht anschmiegt, sodass also die seitliche Öffnung des Lagergehäuses gegen Abfluss des Öles vollkommen gesichert erscheint. Die Pressung dieser Dichtung erfolgt mittels eines Stahlbandes, welches um die Ledermanschetten gelegt ist, und mittels eines oben aufgelegten Stahlplättchens; beide werden durch Anziehen oder Nachlassen der Schrauben an die Manschetten angepresst und geben nach, sodass also auch eine beliebige Regulierung der Dichtung möglich erscheint.

Nach Angabe des Erfinders genügt eine gelinde Anspannung der Dichtung, bezw. des Stahlbandes, dass auf 100 *km* nicht mehr als 5 *gr* Ölverlust stattfindet, das heisst, dass das Lagergehäuse erst nach Zurücklegung von 25 000 *km* eine Nachfüllung erfordert.

Eine am Lagervorderteile oben angebrachte Füllschraube, sowie eine am hinteren Teile unten angebrachte Ablassschraube ergänzen noch die äussere Ausstattung des Lagergehäuses.

Die Wirkungsweise dieser Lagerkonstruktion leuchtet unmittelbar ein. Ist das Lagergehäuse mit Schmieröl gefüllt und entsprechend abgedichtet, so dringt dieses durch die Löcher der Hülse samt Schale unmittelbar zu dem Achsschenkel; bei der Drehung desselben wird überdiess auch noch eine Art saugende Wirkung durch die Löcher verursacht, sodass also der Achsschenkel stets und reichlich mit Öl versorgt ist.

Das Warmlaufen infolge mangelhafter Ölzuführung ist hier ausgeschlossen. Dasselbe kann nur dann eintreten, wenn das vorhanden

gewesene Schmieröl gänzlich verbraucht ist, bezw. wenn der Stand der Ölschicht unter den Achsschenkel gesunken ist. Der Umstand, dass das Lagergehäuse sehr gut abgedichtet ist, bewirkt auch, dass Staub und Schmutz in dasselbe nicht eindringen können, und sonach das Schmiermaterial lange Zeit in dem nötigen flüssigen und schmierfähigen Zustande erhalten wird.

Die an den Korbuly-Lagern angestellten Beobachtungen haben die gerühmten Vorzüge, welche diese Lagerkonstruktion gegenüber den übrigen bisher gebräuchlichen zeigt, bestätigt. Grosse Auflagefläche der Lagerschalen, vollständig gute und verlässliche Schmierung, grosse Ersparnis an Schmiermaterial, geringe Abnützung der Lagerschalen, Verminderung des Heisslaufens (so lange keine Versäumnis im Schmieren eintritt), keine besondere Wartung oder Reparatur. Die Revision kann so lange verschoben werden, bis die Radreifen abgenutzt sind, die Schmiertermine können erheblich verlängert werden.

Aus Allem geht hervor, dass das Korbuly-Lager eine bedeutende Zukunft für sich hat, und dass es geeignet ist, sowohl in Hinsicht auf die Vereinfachung, die Ökonomie und Sicherheit des Betriebes einen durchgreifenden Einfluss auszuüben. Die Budapester elektrische Stadtbahn hat seit März 1896 Korbuly-Lager in Verwendung.

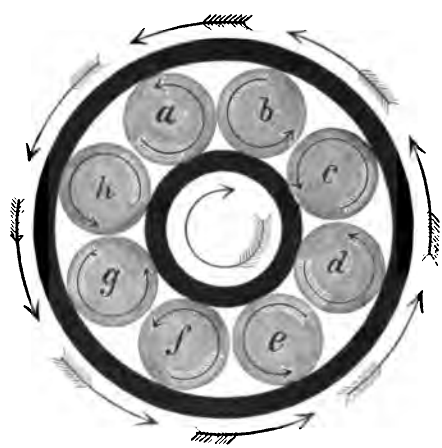


Fig. 373.

Die grossen Erfolge, welche die Kugellager an den Fahrrädern aufzuweisen haben, drängen dem Konstrukteur für elektrische Bahnwagen die Frage auf, warum Kugellager oder diesen ähnliche Lager, die Rollenlager, nicht schon längst bei elektrischen Bahnwagen Verwendung gefunden haben. Zieht man in Betracht, dass bei Kugel- und Rollenlagern die gleitende Reibung in rollende Reibung verwandelt ist und dass fast gar kein Druck zwischen den in entgegengesetzter Drehung aneinander vorbeirollenden Kugeln auftritt, zieht man ferner die Belastungen der einzelnen unter Druck stehenden Walzen oder Kugelreihen in Betracht, so wird man zu dem Resultat kommen, dass beiden Konstruktionen eine Existenzberechtigung auch für elektrische Bahnen zusteht.

Durch Fig. 373 ist schematisch die Wirkung eines Kugellagers dargestellt. Die Kugeln a b stehen unter Druck, während die Kugeln

ef vollständig entlastet sind. c, d, g und h sind unter alleiniger Berücksichtigung des Vertikaldruckes fast ohne Belastung. Die horizontale Beanspruchung beim Bremsen und Antreiben wird je nach der Richtung von den Kugeln cd oder gh aufgenommen.

Über Versuche mit Kugellagern im praktischen Betriebe (Zürich) berichtet Roman von Podoski in der ETZ 1899 sehr eingehend unter Beigabe von Konstruktionszeichnungen, Messresultaten und Diagrammen und kommt hierbei zu folgenden Schlüssen:

	Zugwiderstand auf der Ebene mit Kugellagern	Zugwiderstand auf der Ebene mit gewöhnlichen Lagern
Centrale Zürichbergbahn	12,3	16,7
» »	13,0	23,6
Srassenbahn Zürich-Oerlikon-Seebach .	—	16,1
Industriequartier-Strassenbahn . . .	12,27	—
Städtische Strassenbahnen	22,8	17,3
Im Mittel	15,09	18,42

Das ist eine Ersparnis an Kraft von rund 18 % bei Anwendung von Kugellagern.

Was die im allgemeinen hohen Werte des Zugwiderstandes anbetrifft, so dürften diese vielleicht davon herrühren, dass die Versuchsstrecken fast ausschliesslich in sehr staubigen Chausseen lagen und somit das Gleis bei jedem Wetter ganz bedeutend verunreinigt ist.

Es beweisen die erhaltenen Resultate:

1. dass die Kugellager auf jeden Fall eine Kraftersparnis mit sich bringen, auch bei starken Steigungen, wie solche bei den Versuchsstrecken meistens vorkamen;

2. dass diese Ersparnis auf ebenen Strecken bei gutem Zustande der Lager und rationeller Führung des Wagens Werte bis 35 % des ganzen Kraftverbrauchs annimmt;

3. dass das Material, aus welchem die Hülsen und Ringe ausgeführt sind, eine äusserst wichtige Rolle spielt.

Es dürfte sich also die Anwendung von Kugellagern bei Strassenbahnen, besonders bei solchen mit schwachen Steigungen sehr bewähren unter der Voraussetzung jedoch, dass das Material, aus welchem die Hülsen und Ringe ausgeführt sind, ein absolut zuverlässiges ist; diesen Anforderungen scheint der Krupp'sche Tiegelgussstahl völlig zu entsprechen, um dies jedoch mit Bestimmtheit behaupten zu können, muss man noch mehr Erfahrungen sammeln.

Was von den Kugeln gilt, ist in gleichem Sinne auch für Walzen bezw. Rollen massgebend.

Die Berührung in einer Linie erfordert auch hier gehärtete Materialien. In die Lager gelangender Staub und Schmutz kann naturgemäss niemals eine ausschmirgelnde Wirkung zwischen den arbeitenden Oberflächen ausüben und wird von den höhere Festigkeit besitzenden Materialien zermahlen.

Die bei Rollenlagern an Stelle der gewöhnlichen Lagerschalen zwischen Achsschalen und Achsbüchse einzulegenden Lagergleitstücke bestehen z. B. aus drei konzentrischen Hülsen, deren innere direkt auf dem Achsschenkel befestigt ist, deren äussere unverrückbar mit dem Lagerkasten in Verbindung steht, und deren Mittelhülse den in Fig. 374 dargestellten gitterförmigen Walzenträger mit eingelegten Walzen enthält. Die drei ineinandergeschobenen Hülsen nehmen keinen sehr viel grösseren Raum ein als die heutigen Lagerschalen, wie dies Fig. 375 zeigt. Ein ganz besonderer Vorteil der Anordnung von rings um die Achse gehenden Kugel- oder Walzen-Lagern besteht

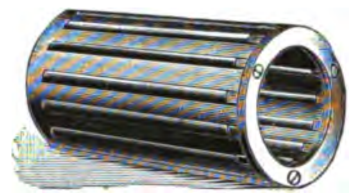


Fig. 374.

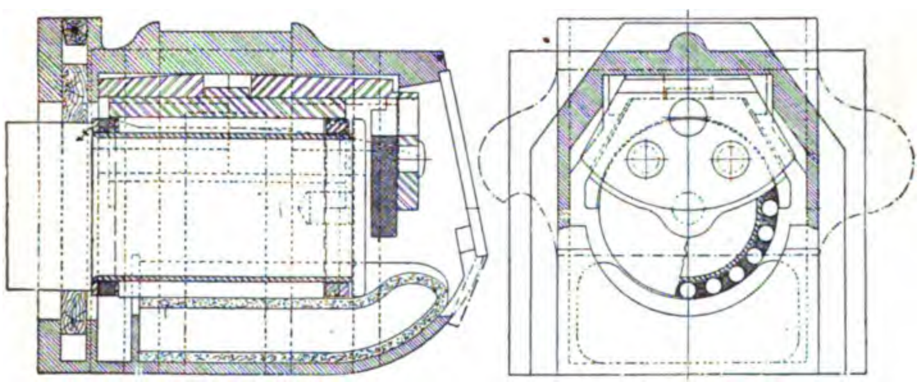


Fig. 375.

darin, dass man sehr stark wirkende Bremsen benutzen kann, ohne fürchten zu müssen, dass durch den Bremsdruck die Achse seitlich aus dem Lager gedrückt wird, wie es bei den üblichen Bronzelagerschalen-Segmenten der Fall ist. Die Rollen sowie die äussere und innere Hülse bestehen aus hartem Stahl.

Ein Satz solcher Lager wurde in einem offenen Wagen der Interstate Consolidated Street Railway Company, welcher zwischen Pawtucket und Attleboro lief, eingebaut und ist ständig in Gebrauch geblieben.

Auch bei Motorlagern sind an Stelle der sonst üblichen Schalenlager Walzenlager verwendet worden. Der eine Motor wurde mit den gewöhnlichen Lagern versehen, der zweite mit Rollenlagern, die Achse, mit welcher der Antrieb dieses letzteren Motors verbunden war, war ebenfalls mit Rollenlagern versehen, während die andere Achse wieder die gewöhnlichen Lager besass; das Untergestell wurde aufgehängt, sodass die Räder in der Luft schwebten. Die Räder wurden durch eine Bremse belastet, das Gewicht des Wagens sowie der Motoren wurde durch Hebelgewichte erzeugt, sodass alle Lager ebenso belastet wurden, als wenn der Wagen sich in Betrieb befunden hätte. Die Motoren wurden alsdann angelassen und zeigten folgende Verhältnisse:

Versuch A.

Gewicht	1800 *kg*
Erforderliche Kraft zum Anlassen der Motoren am Hebelarm 42 *mm*	
bei Motor Nr. 1	120 »
» » » 2	10 » (!)

Versuch B.

Elektrische Kraftprobe mit Motor	Nr. 1.	Nr. 2.
Dauer des Versuches in Minuten	2	2
Wattstundenverbrauch	198	112
Zurückgelegte Entfernung in *m*	1000	1600
1 *km* wurde zurückgelegt in Sekunden . . .	120	75
Belastung in *kg*	2100	2100
Drehungsdauer nach Beendigung des Versuches bezw. nach Entlastung der Räder in Sekunden	12	102

Die in dem Versuche B gegebenen Zahlen sind das Mittel mehrerer Ablesungen. Die Verhältnisse bei beiden Motoren waren genau dieselben nur mit der Ausnahme, dass der Motor Nr. 1 und dessen Antriebsachse mit gewöhnlichen Lagern versehen waren, während der Motor Nr. 2 und dessen zugehörige Achse mit Rollenlagern ausgerüstet war.

Obgleich aus diesen Versuchen nicht absolute Resultate für die Praxis gezogen werden können, so erhellt doch wenigstens aus ihnen, dass mit der beschriebenen Neuerung eine Kraftersparnis erhofft werden kann. Von dieser Hoffnung erfüllt, ging Verfasser dieses Buches bei der Konstruktion von möglichst reibungsfreien Lagern von der Ansicht aus, dass Kugellager für schwere Gefährte und starke Stösse nicht geeignet sind, weil der spezifische Druck auf die Kugeln ein

sehr grosser wird. Selbst wenn man eine grosse Anzahl Kugelreihen vorsieht, ist man nicht sicher, ob sie alle gleichmässig belastet sind. Das Rollenlager besitzt Kantenberührung, statt wie beim Kugellager Punktberührung. Es stehen alsdann grössere Flächen zur Verfügung, wenn man von der Ansicht ausgeht, dass die Berührungskanten und Punkte sich zu kleinen Flächen zusammendrücken.

Trotzdem Rollen mit geringerem spezifischen Druck arbeiten als Kugeln, spielt doch auch bei diesen das Material eine Hauptrolle und wird mit gehärteten Buchsen und Walzen alles erreicht werden können, um die gleitende Reibung gewöhnlicher Planlager in reine rollende Reibung zu verwandeln, ohne dass Molekularbewegung der arbeitenden Flächen und Kanten allzugrosse Arbeitsleistungen beanspruchen.

Um jedoch an einem vorhandenen Wagen Versuche vornehmen zu können, musste auf Anwendung gehärteter Buchsen verzichtet werden und man liess Walzen verschiedenen Materiales auf dem Achsschenkel vorhandener Radsätze und in gewöhnlichen Gusseisen-Lagerkörpern, deren innere Laufflächen möglichst sauber polirt wurden, abwälzen. Die besten Resultate erzielte man mit gezogenen Bronzestäben, da die Stahlwalzen Schenkel- und Lagerkästen zu sehr angriffen, und die Eisenrollen von dem Druck an der Oberfläche aufgerauht wurden.

Diese letzteren zeigten, dass der Umfang der Walze sich mehr streckte, als der Kern derselben, und dass ähnlich wie bei dem Mannesmann'schen Walzverfahren, der Aussencylinder sich allmählich von dem Kern röhrenförmig abwälzen würde, wozu der Anfang bereits nach 14-tägigem Betrieb ersichtlich war.

Die Einführung von Walzenlagern ist mehr von dem Standpunkt aus zu betrachten, Schmiermaterial zu ersparen, als Kraft. Bei dem elektrischen Betrieb spielt diese Ersparnis keine so grosse Rolle, als etwa beim Pferdebetrieb. Das ist auch der Grund, der die bisherigen Gleitlager bei elektrischem Betrieb beibehalten liess, während für Pferdebetrieb das Kugel- und das Rollenlager wesentlich günstigere Ausnutzung gehabt haben würden. Vielleicht auch liegt der Vernachlässigungsgrund dieser Konstruktionen mehr darin, dass man durch Kugellager die Massenbeschleunigung beim Anfahren nicht vermindern konnte, weil diese mit der inneren Reibung des Wagens weniger zu thun hat, als mit dem Gewicht desselben. Pferde und Motoren leiden nicht durch die mittlere Beanspruchung, sondern müssen wegen der Maximalbeanspruchungen beim Anfahren genügend kräftig sein.

Aus den obengenannten Podoski'schen Versuchen geht naturgemäss hervor, dass die Arbeitsersparnis bei vielen und grossen

Steigungen spezifisch geringer war als in der Ebene. Das reibungslose Lager vermindert lediglich die innere Wagenreibung, niemals aber eine Hebungsarbeit oder äussere Widerstände, wie Wind, Schienenreibung u. dergl.

Durch das Rollenlager ist sicherlich eine für die Verhältnisse im Betrieb besser durchführbare massive Konstruktion möglich, als durch die Kugellager, bei denen die Kugeln weniger beim Betriebe selbst, als beim Unterhalten der Lager grössere Schwierigkeiten mit sich bringen. Man darf sich hierbei nicht verhehlen, dass die Werkstattsarbeiter, welche die Lager zu montieren und nachzusehen haben, eventl. dieselben auch auseinandernehmen und wieder zusammensetzen müssen, nicht so sorgfältig im Wagenschuppen verfahren können, wie dies in der Werkstatt bei der Herstellung geschehen kann. Je roher und massiger daher eine Konstruktion im Bahnbetriebe ist, mit um so besseren Werkstattsresultaten können wir rechnen. Kugeln sind daher eher zu verwerfen als Walzen.

Die eventuell mögliche Ersparnis an Strom steht niemals annähernd im Gleichgewicht mit grösseren Ausgaben in der Werkstatt.

Wenn aus den vielen Podoski'schen Versuchsreihen hervorgeht, dass man im Mittel eine Ersparnis an Kraft von rund 18% bei Anwendung von sicherlich gut durchdachten Kugellagern erzielen kann, so wird man bei Rollenlagern, welche zur Parallelführung der Rollen mehr gleitende Reibung haben als Kugellager, die Kraftersparnis für deren Anwendung weniger ausschlaggebend sein lassen. Man kann vielleicht im höchsten Falle 10 — 15 % Arbeitsersparnisse erzielen.

Für Achsschenkel heutiger Form bleibt bei genannten rollenden Lagern (Kugellager, Rollenlager) die Verfolgung einer Ölersparnis viel wichtiger. Vielleicht kann man bei Walzen mit Graphitschmierung auskommen, um die Walzen, die mit gleitender Reibung an den Enden des umfassenden Käfigs oder in anderer geeigneter Lagerung liegen, zu schmieren.

Anderseits ist das Bestreben, rollende Lager gewisser Vervollkommnung entgegenzuführen, dankenswert, weil es dadurch möglich wird, Achsen von sehr grossem Durchmesser anzuwenden, welche aus Gründen der Leichtigkeit hohl gemacht werden können. Für die rollende Reibung spielt der Durchmesser des Achsschenkels bezw. der Achse nur eine günstige Rolle, während dies bei gleitenden Lagern nicht der Fall sein kann.

Die heute noch auf der Tagesordnung stehenden Achsbrüche würden bei Anwendung von hohlen Achsen mit bedeutend grösserem Durchmesser verschwinden, wodurch dem Bahnbetrieb eine grössere Sicherheit und geringere Unterhaltungskosten vorauszusagen wären.

Von ganz wesentlichem Einfluss auf das Gelingen der Versuche mit Walzenlagern ist die Verwendung von Kugelgelenken. Es giebt kaum eine Achse, welche nicht verbogen wäre, oder welche nicht durch Stösse zeitweise elastische Formen annimmt.

Sind daher die Lager nicht befähigt, Schwankungen der Achse und des Achsschenkels willig nachzugeben, so werden bei Entlastungen des einen Teiles spezifische Überlastungen des anderen Teiles und Klemmungen im rollenden Lager auftreten, und die Kugeln bezw. Walze und deren Laufflächen werden schädlich deformiert.

f) Bremsen.

Über die Erfordernisse, welche man im allgemeinen an eine gute Bremse stellen muss, sagt Fromm-Dessau beim 1898er Strassenbahnkongress aus den gesammelten Ansichten bevorzugter Fachleute das Folgende:

a) »Das Fahrzeug muss mit der Bremse auf kurze Entfernung zum Halten gebracht werden können. Die Bremse muss genügend stark sein, um das Fahrzeug auf dem vorkommenden grössten Gefälle mit Sicherheit fest zu bremsen.
b) Die Bremse muss stossfrei, möglichst geräuschlos und ohne nachteilige Erschütterung des Wagens wirken.
c) Die Bremse darf niemals so stark wirken, dass die Wagenräder festgebremst werden und auf den Schienen gleiten.
d) Die Wirkung der Bremse muss je nach der Beschaffenheit der Schienen und nach den Gefällverhältnissen der Bahn beliebig veränderlich sein.
e) Die Bremse darf durch ihre Thätigkeit weder für die Insassen des Fahrzeugs noch für den Strassenverkehr störendes Geräusch oder sonstige Unbequemlichkeiten veranlassen.
f) Die Bremse darf durch ihre Thätigkeit weder dem Fahrzeuge als Ganzem, noch einzelnen Teilen desselben, wie dem Untergestell, den Radreifen, den Zahnrädern des motorischen Antriebes u. s. w., noch den Schienen nachteilig werden.
g) Die Bedienung der Bremse muss für den Wagenführer ohne erhebliche Kraftanstrengung und ohne denselben an der Beachtung der anderen Apparate zu hindern möglich sein.
h) Die Bremse muss während des Betriebes leicht zugänglich, nachsehbar und nachstellbar sein.
i) Die Bremse muss möglichst einfach konstruiert, gegen Verunreinigung aller Art geschützt sein und darf keine erheblichen Unterhaltungs- und Reparaturkosten erfordern.«

Die Behörden haben vielfach mehr als zwei Bremssysteme vorgeschrieben. Bei Gefällen von 1 : 10 dürfte man indessen mit zwei Bremsen auskommen, dagegen ist bei noch grösseren Steigungen und bei gewissen Witterungsverhältnissen in manchen Gegenden ein drittes Bremssystem wünschenswert und in einzelnen Fällen auch nötig.

Für elektrischen Betrieb mit Einzelwagen sind zwei Bremsen, von denen eine eine Handbremse (Kurbel-, Hebel- oder Gewichtsbremse mit Ketten- oder Schraubenspindel) sein muss, während die andere eine mechanische Bremse (elektrische, magnetische oder Luftdruckbremse) sein kann, die Regel. Die elektrische Bremse wird in den meisten Fällen wegen ihrer Einfachheit und Sicherheit bevorzugt und als Gebrauchsbremse empfohlen.



Fig. 376.

Bei Steilbahnen ist ein drittes Bremssystem anzuraten (Schienenbremse, Schlittenbremse, Fallbremse, Zangenbremse und dergl.), vergl. hierüber II. Band VIII. 2.

Für elektrischen Betrieb mit Anhängewagen ist eine durchgehende Bremse, magnetische oder Luftdruckbremse empfehlenswert.

Die mechanischen Bremsen können zweifacher Art sein:

1. Backenbremsen, die an den Radbandagen wirken und mittels Hebel, Ketten, Zugstangen, Bremswellen bethätigt werden.

2. Schlittenbremsen, welche an den Laufschienen wirken und durch Kniehebel, Ketten, Zugstangen, Bremswellen bethätigt werden.

Die unter 1. genannten Bremsen erfordern bei den bekannten grossen Kräften ein sehr starkes Gestänge und Gehänge und beanspruchen das Untergestell in erhöhtem Masse gegenüber solchen Gefährten, die nicht mit annähernd solch' grossem Gewicht behaftet sind als die elektrisch betriebenen Wagen.

Die unter 2. genannten Schienenbremsen zeigen durchweg den Mangel, dass sie den Wagen gewissermassen aus den Schienen heben, indem die Gesamtlast auf den Schlitten übertragen werden muss, um annähernd das vorhandene Adhäsionsgewicht auszunutzen.

Sofern die Schlittenbremse nicht mit Keilwirkung versehen ist, wie dies Fig. 376 zeigt, ist eine kräftige Bremsung mit ihr nicht zu erzielen, da der Reibungswiderstand zwischen Schlitten und

Schiene derselbe bleibt, als wenn die Räder selbst den vollen Druck behalten. Mit Vorteil ist die Reibungsschienenbremse nur anzuwenden, wenn es gilt Radbandagen zu schonen, d. h. wenn vorauszusehen ist, dass die Räder oft fest gebremst werden und alsdann nur mit der kleinen Berührungsfläche auf der Schiene schleifen. Die Räder würden alsdann ihre runde Form verlieren.

Wenn man das Prinzip der Schlittenbremsen umkehrt, sodass diese den Wagen nicht von den Schienen abheben, sondern ihn eher fester auf die Schienen andrücken, so erreicht man eine wesentlich günstigere Wirkung. Letzteres ist natürlich nur durch magnetisches Ansaugen an die Schienen zu erreichen.



Fig. 377.

Zur Bethätigung mechanischer Bremsen durch den Wagenführer wendet man Bremskurbeln mit horizontaler Bremsspindel an, oder Wurfhebel mit vertikaler Bewegungsebene. Eine Bremsspindel erster Art stellt Fig. 377 dar. Der Bremsgriff ist hier mit einer der Bohrknarre ähnlichen Vorrichtung versehen, welche den Zweck hat, den Kurbelgriff stets so einzustellen, dass er dem Bremser, bezw. Wagenführer stets die günstigste Stellung für das Bremsen ermöglicht.

Die Bremsklötze sollen aus weichem Material (Gusseisen) bestehen, damit sie die Bandagen nicht angreifen. Aus Gründen der Billigkeit fertigt man die Schleifflächen besonders an und befestigt sie an dem Bremsklotzhalter mittels Nasen, Schrauben

Keilen u. s. w., wie z. B. Fig. 378 zeigt. Auch die Einlage von Holz in den Bremsklotz nach Fig. 378a ist mit gutem Erfolge durchgeführt worden.

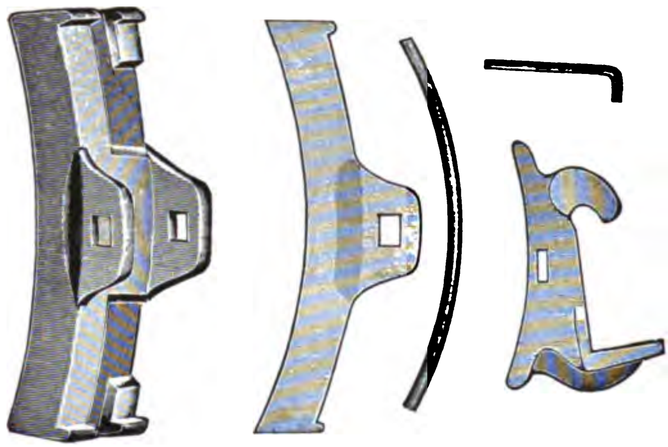


Fig. 378.

Das Übersetzungsverhältnis zwischen Bremskurbelgriff und Bremsklotz muss 1 : 100 bis 1 : 150 sein.



Fig. 378a.

Legt man die von Prof. Franz Ritter von Rziha berechnete Durchschnittsleistung eines Arbeiters[1]) zu Grunde, so ergiebt die Beanspruchung des Wagenführers bei Verwendung der Handbremse unter den bei elektrisch betriebenen Zügen (Motor- und Anhängewagen) herrschenden Verhältnissen und bei wechselndem Gelände eine grössere Sekundenleistung als 6,3 *mkg* und damit eine Überlastung desselben.

Das Bestreben, solche Bremsen zu besitzen, die unabhängig von der menschlichen Kraftanstrengung sind, macht sich bei den elektrischen Bahnen in um so höherem Masse bemerkbar, als wir hier schon allein für die Fortbewegung der Wagen die grösstmögliche Adhäsion ausnutzen und mit Rücksicht hierauf die Steigungs- und Gefällsverhältnisse der Bahn anlegen. Es ist bekannt, dass für die Bremsung eines Zuges die Adhäsion in viel

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Jahrg. 1894. Nr. 21, S. 645.

grösserem Masse ausgenutzt werden muss als für die Fortbewegung, d. h. ausser den Lokomotivachsen müssen auch Wagenachsen gebremst werden. Dieses bei elektrisch betriebenen Wagen, deren sämtliche Achsen stets angetrieben sind, zu verlangen, ist ohne weiteres einfach unmöglich. Sobald man die Gefälle bis zur Adhäsionsgrenze anlegt, kommt nicht die Frage zuerst in Betracht, ob es möglich ist, die besagten Steigungen mittels Adhäsion zu befahren, sondern ob es möglich ist, das Gefälle gefahrlos »hinunterzurutschen«. Man kann wohl zwischen den Bremsbacken und dem Rade jede beliebige Reibung erzeugen, zumal wenn ausser der menschlichen Muskelkraft mit den nötigen Übersetzungsverhältnissen irgend eine mechanische Kraft als Bremsdruck zur Verfügung steht; aber man kann die Reibung zwischen Rad und Schiene nicht vermehren, wenn man von der Sandstreuung absieht. Die Reibung ist abhängig von dem Drucke und der Beschaffenheit der reibenden Flächen, aber fast unabhängig von der Grösse der Flächen, mithin wirkt auch eine sogenannte Schlittenbremse mit ihrer grösseren Fläche nicht zur Vermehrung der Reibung.

Vor einigen Jahren tauchte die amerikanische Nachricht auf, dass der blosse Stromdurchgang zwischen zwei sich berührenden Flächen einen grösseren Reibungskoëffizienten zwischen diesen Flächen hervorrufe. Diesbezügliche Versuche haben aber diese Behauptungen nicht nur nicht bestätigt, sondern sogar gegenteilig bewiesen, dass bei einer die Kontaktfläche überlastenden Stromstärke die Reibung eine geringere ist.

Die Veränderung der reibenden Flächen durch dünn aufgestreuten Sand zwischen Rad und Schiene bewirkt nun allerdings eine grössere Reibung, welche man aber ebensogut für die Bergfahrt als für die Thalfahrt benutzen kann, und welche somit nicht nur für die Bremsung spezifisch ist.

Wenn mittels der Bremsbacken das Rad in Stillstand gesetzt worden ist, so ist die rollende Reibung zwischen Rad und Schiene in gleitende verwandelt, weil die Reibung zwischen Radumfang und Bremsklotz grösser ist als zwischen Radumfang und Schiene. Die lebendige Kraft des Wagens kann durch die gleitende Reibung des Rades noch nicht auf Null gebracht werden. Der Wagen gleitet, was bei Strassenbahnen noch durch den auf den Schienen befindlichen Schmutz begünstigt wird. Die Reibung der Ruhe ist grösser als die Reibung der Bewegung, darum soll man bestrebt sein, die Räder während der rollenden Reibung zur Bremsung auszunutzen. Beim Abrollen zweier Flächen sind dieselben gegeneinander in Ruhe, beim Gleiten jedoch in Bewegung. Von diesem Standpunkte aus betrachtet sind die Schlittenbremsen ohne Keilwirkung unvorteilhaft.

Wenn man es nun erreichen kann, dass die Reibung zwischen dem Radumfang einerseits und dem Bremsklotz bezw. der Schiene anderseits gleichmässig regulierbar ist, so müsste man den idealen Zustand erreichen können, dass das Rad sich eben noch an der Schiene abwälzt, während es schon gegen den Bremsklotz keine Bewegung mehr hat.

Zu den motorischen Bremsen sind diejenigen zu rechnen, welche mit Kurzschluss des Motors (Fig. 379) die Triebachse festhalten. Diese Art der Beanspruchung des Wagenmotors hat eine hohe Erwärmung während der Bremszeit zur Folge. Die Anlasswiderstände des Motors allein genügen nicht, um den erzeugten Strom bei unschädlicher Spannung in unschädliche Wärmearbeit umzuwandeln,

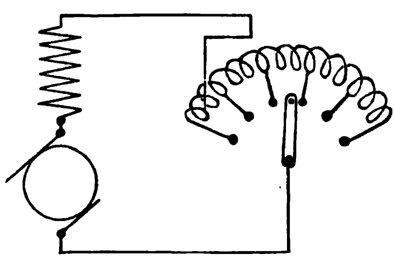


Fig. 379.

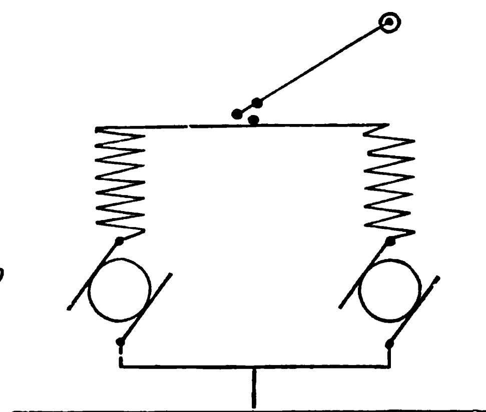


Fig. 380.

sodass man für die Bremsung besondere und grössere Widerstände vorsehen muss, für welche im Wagen selten Platz vorhanden ist. Ferner soll man dem Motor nicht zumuten, dass er die ganze lebendige Kraft des Wagens, welche beim Anfahren erst ganz allmählich beschleunigt wird, beim Bremsen in wenigen Metern aufzehrt. Solcher Beanspruchung ist selbst der Motor auf die Dauer nicht gewachsen, der imstande wäre, die volle Adhäsion zwischen Rad und Schiene in jeder Zeit zu bewältigen, d. h. ein Motor, der das Rad zum Rutschen bringt, ohne übermässige Erwärmung zu zeigen und in seinem Nutzeffekt allzusehr zu sinken.

Man hat sich, wenn zwei Motoren im Wagen vorhanden sind, dadurch zu helfen versucht, dieselben gegeneinander zu schalten, um in dem Widerstande der elektromotorischen Gegenkraft mit den einfachsten Mitteln einen, der Bremsarbeit entsprechend hohen Widerstand vorzuschalten. (Fig. 380.) Es sind auch fernerhin Schal-

tungen vorgeschlagen worden, bei denen der Anker des einen Motors auf die Schenkel des anderen und umgekehrt arbeiten sollte, wodurch eine ähnliche Wirkung erzielt wird, wie bei Hintereinanderschaltung beider Anker und Schenkel. Nebenschlussmotoren haben den grossen Vorzug, die Bremsarbeit in Nutzarbeit zu verwandeln, indem dieselben Strom von stets gleicher Spannung in das Netz schicken können und in dieser Thätigkeit den Wirkungen einer Dynamomaschine entsprechen.

Es lag nahe, ähnlich wie bei Dampf-Lokomotiven den sogenannten »Contredampf«, den Rückstrom als Notbremsung zu benutzen. Man kann von einer regelrechten Bremsung hier nicht sprechen, weil der unabweisliche Rücklauf des Strassenbahnwagens jeder Sicherheitsrücksicht widerspricht. Vom theoretischen Standpunkt aus ist auch die Bremswirkung zwischen sich rückwärts drehenden Rädern und den Fahrschienen wegen der auftretenden gleitenden Reibung mangelhaft, indess lehrt der praktische Versuch auch hier wieder, dass man mit Rückstrom, allerdings auf Kosten der Haltbarkeit des Motors und des Getriebes, Notbremsung, aber auch nur diese, erreichen kann.

Sieht man im Falle der Gefahr von dem Nutzeffekt der Bremse ab, d. h. lässt man die aufgewendete Energie ausser Vergleich mit der erzielten Bremswirkung, so darf man trotzdem den Rückstrom zur Bremsung von vornherein nicht vorsehen, weil er erstens zu gross wird und darum die Stromsicherung des Wagens zur Auslösung bringt, zweitens der Rückstrom von dem Anliegen des Fahrkontaktes am Fahrdraht abhängig ist, drittens der Stoss im Triebwerk Verwüstungen im Innern und dadurch weitere Bremsunfähigkeit zur Folge hat, und weil man schliesslich bessere Mittel zur Verfügung hat, welche die Rückstrombremsung überflüssig macht.

Zu diesen besseren elektrischen Bremsen gehören die magnetischen Bremsen im Gegensatz zu den bisher genannten motorischen Bremsen.

Als erste in dieser Richtung zu verzeichnenden Bestrebungen können diejenigen angesehen werden, welche die gewöhnlichen Bremsklötze mit Magnetwickelungen bedenken; indessen zeigen diese Bremskonstruktionen denselben Nachteil wie kräftige Handbremsen, da die Gestänge und Bremsklötze einer grossen Abnutzung unterliegen und Reparaturkosten erfordern.

Diese Übelstände umging man mit Anwendung von Bremsscheiben, die man auf die motorfreien Achsen setzte. Als charakteristisches Beispiel kann hier die elektromagnetische Bremse der Elektrizitäts A.-G. vormals Schuckert & Co. in Nürnberg (D.R.P. 103098) gelten. Dieselbe ist in Fig. 381 dargestellt.

In einem nach Art eines Dynamogestelles hergestellten Polgehäuse sind die die Bremsscheiben a tragenden Polschuhe b verschiebbar gelagert und werden durch den Strom gegen die Achse gepresst. Die Abzugfedern c ziehen sie zurück, sobald die Bremse ausser Thätigkeit tritt. Der Magnetschluss erfolgt durch die Bremsscheibe. Es wird also hier nur die Reibung zwischen Bremsscheibe und Bremsflächen infolge des elektromagnetischen Druckes zur Bremsung benutzt.

Die Aktien-Gesellschaft Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) in Dresden hat eine nach System Fischinger konstruierte Bremse verwirklicht, bei der ebenfalls nur gleichgerichteter Magnetismus adhäsionsvermehrend auf zwei Achsenbremsscheiben wirkt.

Die meisten heute üblichen elektromagnetischen Bremsen benutzen für die Bremswirkung die Entstehung von Wirbelströmen in der Achsenbremsscheibe. Diese, Wirbelströme begünstigende Eisenscheibe, wird vor einem

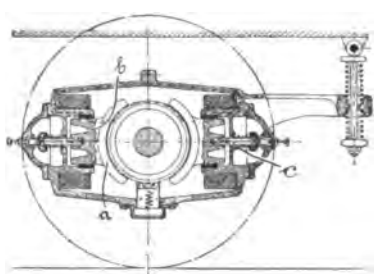


Fig. 381.

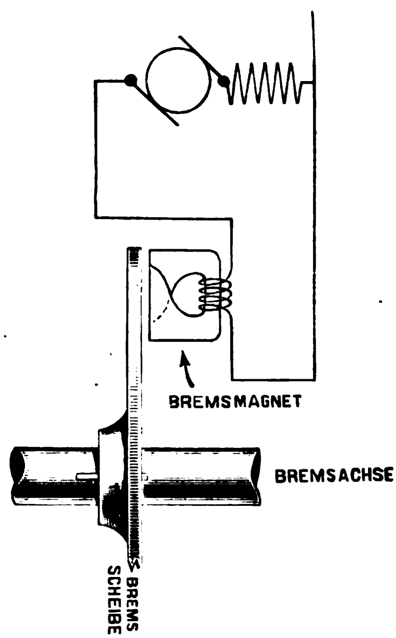


Fig. 382.

durch Gleichstrom erregten Wechselmagnetfelde vorbeigeführt, sodass die gegenseitige Wirkung zwischen dem ruhenden Magnetfelde und dem durch Foucaultströme erzeugten Magnetfelde eine hemmende Wirkung der aneinander vorbeibewegten Massen im Gefolge hat. Die Erzeugung des Wechselmagnetfeldes erfolgt durch Gleichstromerregung, wie Fig. 382 zeigt. Der hierzu erforderliche Erregerstrom wird von dem Motor erzeugt und kann durch die sonst üblichen Anlasswiderstände abgestuft werden. Die elektromotorische Gegenkraft zwischen den beiden Bremsmagneten ist hier in ähnlicher Grösse vorhanden, wie bei gegengeschalteten Motoren.

Die erste Idee zur Konstruktion derartiger magnetischer Wirbelstrombremsen rührt von Sperry her und beruht darauf, dass der Erregerstrom vom Wagenmotor erzeugt wird. Will man Wagen, deren jede Achse mit einem Motor versehen ist, auf diese Art bremsen, so müssen neben dem Motor auf den Achsen diese Bremsen angebracht sein. Dagegen genügt es bei Wagen mit einem Motor bezw. mit einer angetriebenen Achse auf die andere Achse den Bremsmotor zu setzen, wobei die angetriebene Achse, deren Motor als Dynamo arbeitet, ebensoviel gebremst wird, als die mit dem Bremsmotor versehene Achse. Kommen nun noch Anhängewagen in Betracht, so sind auch die Anhängewagenachsen mit Bremsscheiben zu versehen, welche durch den oder die Wagenmotoren ebenfalls erregt werden. Je grösser das Verhältnis zwischen Bremsachsen

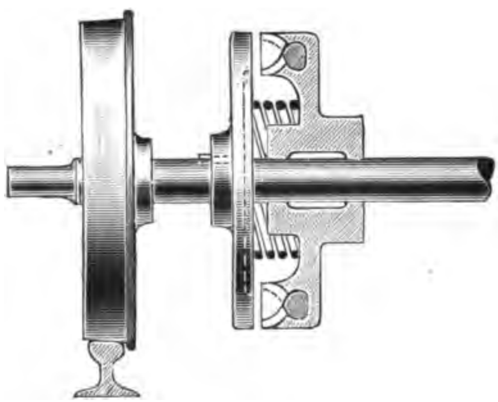


Fig. 383.

und Motorachsen ist, um so grösser ist die bremsende Wirkung gegenüber der beschleunigenden Wirkung; man kann also mit demselben Arbeitsverbrauch für die Beschleunigung eine dem Verhältnis der Achsen entsprechende schnellere Bremswirkung erzielen, ohne mit einer grösseren Motorbeanspruchung rechnen zu müssen. Die hier besprochene Anordnung schliesst jedoch nicht aus, dass auch mit dem Netzstrom der Bremsmotor erregt werden kann, sodass den Wagenmotoren für die Dauer der Bremsung Ruhe gegönnt werden kann, was bei sonst übermässiger Anstrengung des Motors keinesfalls von Schaden sein kann.

Befestigt man eine gusseiserne Scheibe von einem etwa 20 *cm* geringeren Durchmesser als das Laufrad sowohl gegen Drehung als gegen Verschiebung auf der Achse und ordnet seitlich dieser glatt abgedrehten Scheibe einen Magnetpolkranz so an, wie etwa durch Fig. 383 dargestellt ist, so ist es erforderlich, um starke Friktion

zwischen der Bremsscheibe und den Magnetpolen, welche in ihrer Polarität abwechselnd sind, zu vergrössern, den Luftwiderstand zwischen den Magnetpolen und der Scheibe auf Null zu verringern, wodurch bedingt wird, dass das Magnetsystem der Scheibe genähert und entfernt werden muss. Die Näherung erfolgt durch den entstehenden Magnetismus selbst, während die Wiederentfernung nach Abschalten des Bremsstromes selbstthätig durch eine Feder erfolgen kann. Der Magnetismus, welcher zunächst den Luftwiderstand und den Federdruck überwinden muss, um die Pole an die Bremsscheibe zu bringen, muss eine gewisse Höhe erreicht haben und wirkt nach Überwindung dieser Widerstände plötzlich sehr stark auf die Eisenscheibe, sodass ein Ruck in der Bremswirkung erfolgt. Die Abstufung des Magnetismus durch den Vorschaltwiderstand kann hierin wenig ändern, es liegt daher nahe, diesen Luftwiderstand ganz zu vermeiden, indem man die Bremsscheiben stets an den Polflächen schleifen lässt. Eine Schmierung der beiden Flächen, welche schädliche Wärmeentwickelung beim Leerlauf verhindert, ist wieder für die Bremswirkung von schädlichem Einfluss. Die magnetischen Achsenbremsen nach dem Sperry-System können dèn Wagen nicht bis zum Stillstand bremsen, sondern wirken nur so lange, als eine Bewegung des Wagens vorhanden ist und diese Bewegung noch genügend gross ist, um die Intensität des Wirbelstrommagnetfeldes kräftig zu halten. Wenn es trotzdem den Anschein hat, als ob diese Eigenschaft den Bremsen anhaftete, so ist das ein Trugschluss, welcher dadurch begünstigt wird, dass die innere Reibung im Wagen (Zahnräder, Reibung, rollende Reibung, Luftwiderstand u. s. w.) den Wagen thatsächlich zum Stehen bringt. Sobald aber der Wagen z. B. in einem Gefälle von 1 : 80 nur mit Hilfe magnetischer Bremsen zum Stillstand gebracht werden soll, zeigt es sich, dass gerade dieses Gefälle hinreicht, um den Wagen bei einer spezifischen Zugkraft von ca. 12 *kg* für die Tonne in Bewegung zu erhalten. In der Horizontalen wird die innere Reibung den Wagen auf einer gewissen Strecke zum Stillstand bringen und in der Steigung um die vermehrte Hebungsarbeit entsprechend schneller abbremsen. Man sieht also, dass man die magnetischen Bremsen ohne die bisher üblichen Backenbremsen mit Handspindel nicht verwenden kann, da immer eine gewisse Bewegung des Wagens die Wirksamkeit der magnetischen Bremse bedingt. Die magnetischen Bremsen können nur die Schwungmassen vermindern und bieten den bisherigen elektrischen Bremsarten gegenüber eine einfache und billige Lösung. Die Handbremsen ganz zu erübrigen, dürfte sich, zur Zeit wenigstens, noch nicht empfehlen. Es ist auch kein Fehler, dass die als Notbremse immer noch bedingte Backenbremsung bei jedesmaligem Stillsetzen

des Wagens in Gebrauch kommt und dadurch in jedem Augenblick betriebssicher und betriebsfertig ist, während sonst der Übelstand besteht, dass sie im Falle der Not ihre Wirksamkeit versagt, weil sie nicht immer wieder auf die Probe ihrer Leistungsfähigkeit gestellt wird. Dies geschieht jedoch, wenn der Backenbremse immer noch ein Teil der täglich gewöhnten Arbeit übertragen bleibt und anderseits der Führer nicht aus der Gewohnheit kommt, dieselbe zu benutzen.

Die Magnetbremse bietet gegenüber der mechanischen Bremse eine Reihe von Vorteilen. Es entfällt für den Wagenführer die körperliche Anstrengung, die für das Anziehen der mechanischen Bremse erforderlich ist, und die infolge der häufigen Benutzung bei Strassenbahnen den Wagenführer schnell ermüdet. Die elektromagnetische Bremse wirkt ohne Zeitverlust, und zur Bethätigung derselben genügt eine kurze Bewegung des Schalthebels, die ohne Kraftanstrengung ausgeführt werden kann. Für die gewöhnliche Gebrauchsbremsung kann die Bremswirkung bei richtiger Anordnung der Schaltstufen so sanft eingeleitet werden, dass Stösse beim Bremsen nicht auftreten und eine Belästigung der Fahrgäste durch zu heftiges Bremsen ausgeschlossen ist. Bei richtiger Wahl der Schaltstufen wird es auch vermieden, dass eine Überlastung oder Beschädigung der Motoren eintritt, sodass ohne Gefährdung der elektrischen Einrichtungen die Magnetbremse als Gebrauchsbremsung benutzt werden kann.

Man kann selbstverständlich auch die Magnetbremsen mit Netzstrom speisen und erhält alsdann Bremsung bis zum Stillstande, jedoch erfordert diese Bremsung grössere Vorschaltwiderstände und äusserst vorsichtige Handhabung, um die Wickelungen nicht zu überlasten und zu verbrennen. Zudem kommt, dass alsdann der Motor nichts zur Bremsung beiträgt, wie dies bei der Sperry-Bremse der Fall ist. Auch können Akkumulatoren zur Speisung der Bremselektromagnete dienen.

Das Charakteristikum der Sperry-Bremse ist durch seine drei Wirkungsweisen gegeben:

1. Gewöhnliche mechanische Bremsung, hervorgerufen durch magnetische Anziehung der Bremsflächen;

2. Wirbelstromerzeugung in der Bremsscheibe durch die wechselnden Magnetfelder der Bremsmagnete;

3. Schaltung des Motors als Dynamomaschine (Stromerzeuger).

Den magnetischen Bremsen überträgt man die erste Hauptarbeit der Bremsung und lässt den Führer den letzten Rest der in Bewegung befindlichen Wagenmassen mit der Spindelbremse abbremsen.

Wird man vor die Aufgabe gestellt, die Rentabilität einer magnetischen Bremseinrichtung zu erbringen, so stellt sich betreffs der Motorwagen die Anschaffung dieser Bremsen als absolut notwendig und schon damit als stets rentabel heraus. Für die Anhängewagen bleibt zu erwägen, ob diese täglich oder nur an besonders verkehrsreichen Tagen dem Motorwagen angehängt werden. Eine magnetische Bremse für zwei Anhängewagenachsen kostet rund 1000 Mark. Rechnet man für Zinsen, Amortisation und Unterhaltung 12%, so betragen die Betriebskosten im Jahre 120 Mark. Werden die Anhängewagen z. B. nur an 50 Tagen im Jahre benutzt, und sind dieselben alsdann nur mit den üblichen Spindelbremsen ausgerüstet, so stellt sich die Bedienung derselben durch besondere Bremser,

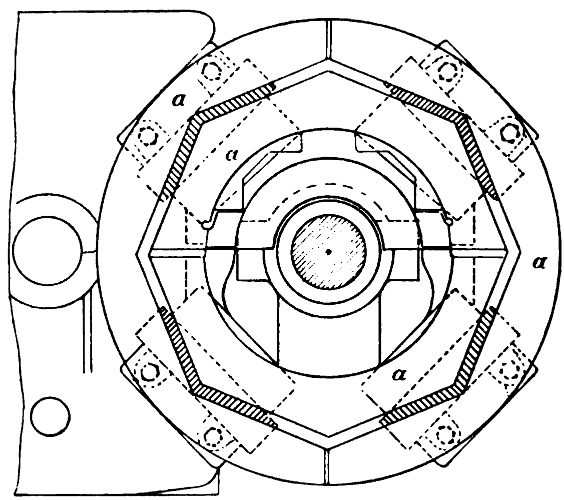


Fig. 384.

welche 2 Mark Lohn für den Tag erhalten, auf $50 \times 2 = 100$ Mark. Hierzu kommt die Unterhaltung der Kurbelbremsen und Bremsklötze, welche mit 20 Mark nicht zu hoch anzusetzen ist. Es ergiebt sich also, dass selbst bei seltenem Gebrauch der Anhängewagen die magnetischen Bremsen rentabel sind.

Für die Berechnung magnetischer Bremsen können die folgenden Anhaltspunkte dienen.

Die Zugkraft Z, mit der ein Elektromagnet seinen Anker anzieht, ergiebt sich in Kilogrammen aus der Gleichung $Z = F\left(\frac{B}{5000}\right)^2$ wobei F der angepresste oder genauer der Kraftlinien führende Querschnitt in Quadratcentimetern und B die Induktion für 1 *qcm* ist, die sich

aus der betreffenden Eisencharakteristik für einen gegebenen Erregerstrom entnehmen lässt. Im Durchschnitt kann für die grösste Zugkraft 16 *kg/qcm* Anpressungsfläche angenommen werden. Die durch die Kraft Z hervorgerufene Reibungsbremsung wird in den besprochenen Konstruktionen, die auf einer Seite keine ununterbrochene Bremsfläche, sondern einzelne vorspringende Pole besitzen, durch die hemmende Wirkung von Wirbelströmen ganz erheblich vermehrt, da die volle Fläche der Bremsscheibe in rascher Folge in den einzelnen Teilen von verschieden grossen Kraftlinienflüssen durchsetzt wird, was bei dem geringen elektrischen Widerstande der Scheibe zu verhältnismässig kräftigen Wirbelströmen Veranlassung giebt.

Eine nach vorstehenden Grundsätzen von der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft vielfach ausgeführte Bremse wird durch die Fig. 384 und 385 dargestellt. Dieselbe wird aus einer Anzahl im

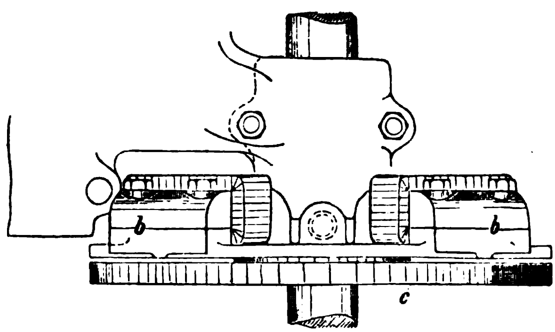


Fig. 385.

Kreise stehender Elektromagneten mit inneren und äusseren, voneinander getrennten Polstücken a gebildet, welche ihre Polflächen in derselben Ebene haben und durch radiale, mit Spulen umwickelte Joche b derart verbunden werden, dass die Kontaktflächen der Bremsscheibe gegenüber stehen. Der Schlitz zwischen den beiden Polflächen besitzt eine nicht kreisrunde Form. Die Bremsscheibe c wird auf ihrer ganzen Fläche gleichmässig beansprucht. Die Bremsmagnete werden durch Achslager centriert.

Eine eingehende Beschreibung dieser Bremse giebt Kubierschky in der ETZ 1898, Heft 14, S. 223—225. Fig. 386 stellt die Anordnung der Bremse bei einem Motorwagen dar, dessen eine Achse einen Motor trägt und dessen andere von der Achsenbremse eingenommen wird.

Der Bremsschuh setzt sich aus vier Gussstücken zusammen, von denen die beiden inneren die Lagerschalen einschliessen, welche

ihrerseits den Schuh auf der Wagenachse tragen. An einem der beiden äusseren Gussstücke ist ein flacher Lappen angegossen, der,

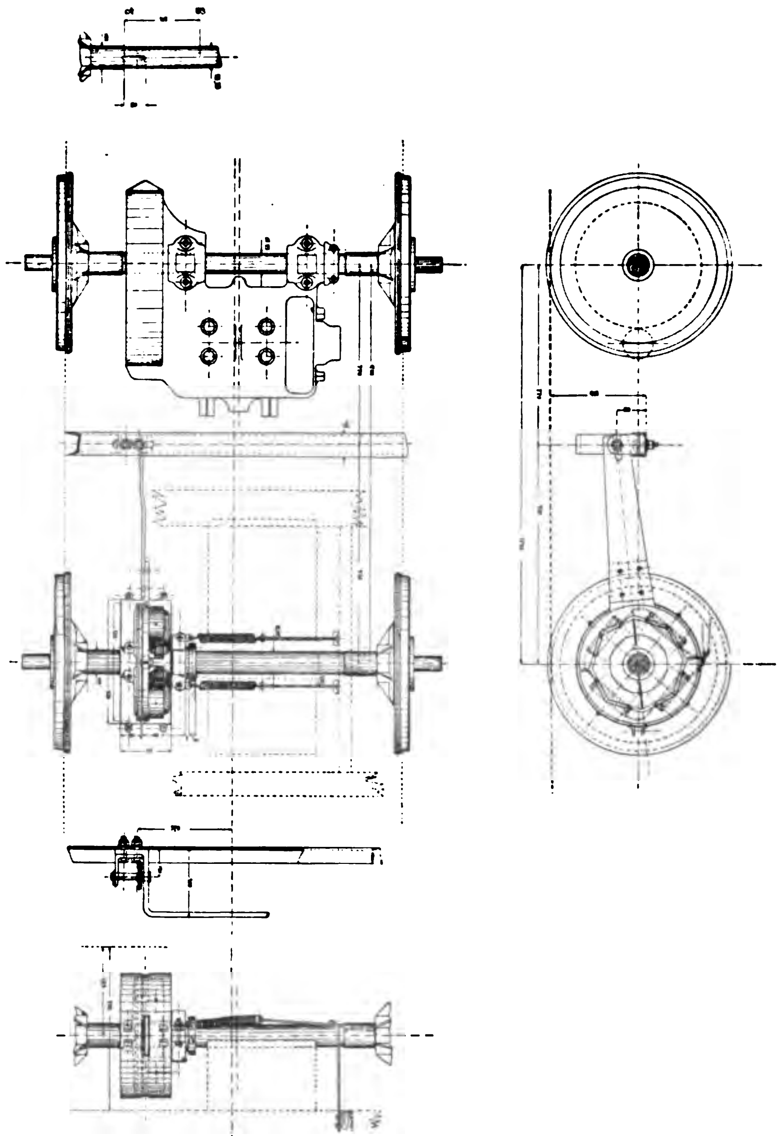


Fig. 386.

wie aus der Figur ersichtlich, mit einem am Mittelträger des Untergestells befestigten Arm verbolzt ist und dazu dient, die Drehung des Bremsschuhes zu verhindern.

Mittels der radial nach dem Kreismittelpunkt zu angegossenen Schenkel, die zur Aufnahme der Magnetspulen dienen, werden nun die beiden äusseren Gussstücke mit den inneren verschraubt, und zwar im rechten Winkel gegeneinander versetzt. Durch diese Verschraubung kommen die vier einzelnen Gussstücke in Zusammenhang und bilden ein starres System. Die erwähnten Magnetspulen werden elektrisch so miteinander verbunden, dass ein hier durchfliessender Strom auf der inneren Schleiffläche gleichnamige Pole eines Magneten erzeugt, dessen anderer Pol von der äusseren Fläche gebildet wird.

Vor der Reibfläche des Magnetsystems rotiert nun in geringem Abstande eine auf der Wagenachse fest und unverschiebbar aufgekeilte runde Eisenscheibe, die den Anker zu den konzentrischen Ringpolen bildet und somit letztere beim Bremsen stark anzieht. Der Bremsschuh ist in achsialer Richtung etwas verschiebbar und wird durch einen auf der Achse befestigten Stellring und durch Abzugsfedern während der Fahrt immer in seinem richtigen Abstande von der Scheibe gehalten.

Bremsschuh und Scheibe sind durch einen sie umschliessenden zweiteiligen Schutzkasten gegen Eindringen von Schmutz und Wasser geschützt. Die Drahtenden der Magnetspulen werden aus einem am höchsten Punkte des Schutzkastens befindlichen Loche heraus zu den Kontrollern geführt.

Der Bremsschuh besteht aus Stahlguss, die Scheibe dagegen aus Gusseisen, sodass die Abnutzung auf der Schleiffläche des ersteren äusserst gering ist, während die Schleiffläche der Scheibe ausgewechselt werden kann, ohne dass dabei die Scheibe selbst von der Radachse abgenommen zu werden braucht. Der Luftraum zwischen dem inneren und äusseren Pol ist in Form eines achteckigen Schlitzes deshalb hergestellt, weil ein Schuh mit kreisrundem Spalt nach einiger Zeit die Reibfläche der Scheibe mit Ausnahme der dem Spalt gegenüberliegenden Ringfläche abnutzen und somit eine unebene, die Bremswirkung verschlechternde Fläche erzeugen würde.

Der Bremsschuh besitzt einen mit einer federnden Klappe verschlossenen Ölbehälter zur Schmierung seines Lagers und ist dieses letztere so gut wie keiner Abnutzung unterworfen, da es ausser dem Eigengewicht des Schuhes keinerlei Beanspruchung hat.

Eine von Siemens & Halske A.-G. ausgeführte Bremse besteht darin, dass ein Gramme-Ringanker mit sehr vielen seitlichen Polansätzen versehen ist, die mit ihrer, durch die wechselnde Wickelung der zwischenliegenden Wickelungsstücke hervorgebrachten Polaritätsänderung auf seitlich liegende, mit der Achse verschiebbar aber nicht drehbar verbundene Scheiben wirken.

Diese magnetische Bremse (Fig. 387) besteht aus dem Magnetkörper K und den Ankerscheiben A_1, A_2 und A_2'.

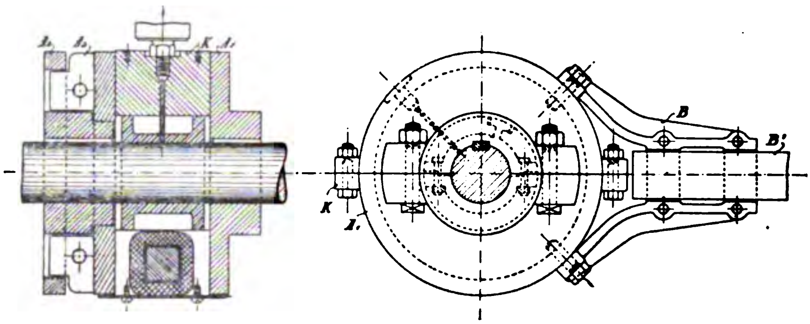


Fig. 387.

Der Magnetkörper K ist auf der Wagenachse gelagert, die Drehung desselben wird jedoch durch den Arm BB', der seinerseits am Wagenkasten oder Wagen-Untergestell befestigt ist, verhindert.

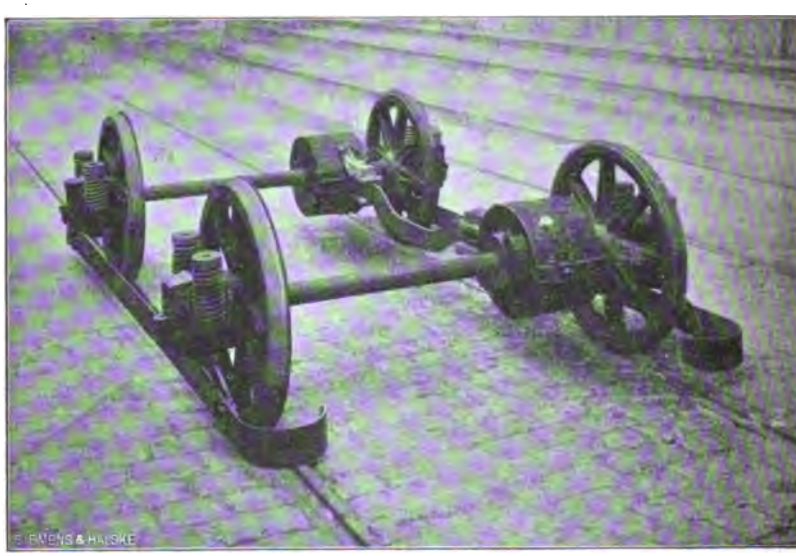


Fig. 388.

Die Ankerscheibe A_1 ist mittels Feder unverschiebbar auf der Wagenachse befestigt; die zweite Ankerscheibe, aus den Teilen A_2 und A_2' bestehend, ist derart angeordnet, dass A_2 ebenfalls fest auf der Achse sitzt, A_2' dagegen in Richtung der Achse verschiebbar

ist und bei der Drehung von A_2 mitgenommen wird. Es rotieren also die Ankerscheiben A_1 und A_2' mit der Achse, und der Magnet körper K, der auf der Achse gelagert ist, steht fest.

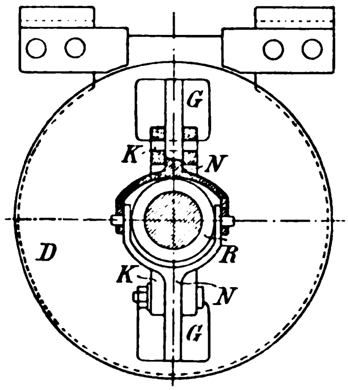


Fig. 389 a.

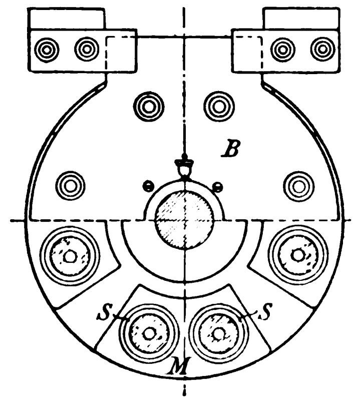


Fig. 389 b.

Werden die Spulen des Magnetkörpers durch den von den Motoren erzeugten Strom erregt, so wird der Magnetkörper K an die Ankerscheibe A_1 und die Ankerscheibe A_2' an den Magnetkörper angezogen und auf diese Weise eine kräftige Bremswirkung hervorgerufen. Die Ankerscheiben werden durch die Wirkung des Magnetismus an die Pole des Magnetkörpers angedrückt und infolge der auftretenden Reibung die Achse bremsen.

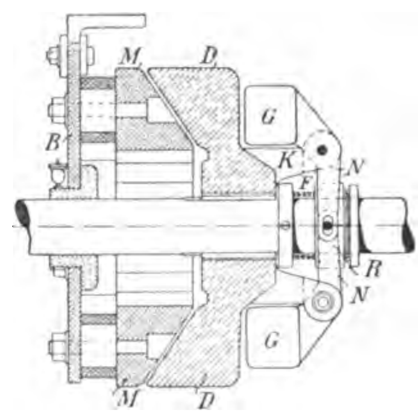


Fig. 389 c.

Die bei Anwendung der magnetischen Bremsen für Anhängewagen erforderliche Kuppelung besteht aus zwei Kuppelungsdosen, die am Motorwagen und am Anhängewagen befestigt werden, und aus einem biegsamen Kuppelungskabel, dessen Enden mit je zwei Kontaktstöpseln versehen sind.

Fig. 388 zeigt die Anordnung der magnetischen Bremsen an Anhängewagen.

Eine von Deri angegebene Wirbelstrom- und Reibungsbremse wird in Fig. 389a, b, c dargestellt. So lange die Fahrt noch schnell

genug ist, um durch den Wagenmotor noch Bremsstrom erzeugen zu können, wirkt die Bremse als Wirbelstrombremse, bei langsam werdender Fahrt wirkt die Reibung mit.

Der Übergang von der einen Wirkung zur anderen geschieht automatisch. Die Beanspruchung und Abnutzung jener Teile, welche der Reibung ausgesetzt sind, ist eine ganz geringe, weil die Reibung nur kurze Zeit andauert und nur bei kleinen Geschwindigkeiten eintritt.

An dem Wagengestell fest und die Achse umgebend ist ein System von Elektromagneten SM mit gemeinsamer Jochplatte B angeordnet. Die Spulen sind mit Blech dicht umhüllt und dadurch gegen Schmutz und Feuchtigkeit geschützt. Die Wickelung der Spulen ist derart, dass die Polschuhe abwechselnd ein Nord-Süd-Magnetfeld bilden, wenn Strom durch die Spulendrähte fliesst. Vor dem Polkranz liegt der gusseiserne Anker D, welcher mit der Wagenachse rotiert, jedoch eine Bewegung in der Achsenrichtung ermöglicht. An dem Anker befinden sich Angüsse K, welche zwei Fluggewichte G tragen, die natürlich an der Drehung der Wagenachse teilnehmen. Infolge der Centrifugalkraft trachten die Gewichte nach aussen und drücken durch die gabelförmigen Hebel N den Stellring R gegen die Feder F. Sowohl die Feder F als auch die der Flugkraft ausgesetzten Gewichte G streben den Anker D von den Polschuhen M zu entfernen bis zu einer durch einen Anschlag begrenzten Distanz von wenigen Millimetern. Die magnetische Kraft hingegen, von den Polschuhen ausgehend, zieht den Anker in entgegengesetzter Richtung, d. h. gegen die Polschuhe an. Die verschiedenen Kräfte sind so bemessen, dass die magnetische Kraft die Federkraft überwinden kann, wenn sie allein gegenwirkt, nicht aber dann, wenn sie durch die Flugkraft der Gewichte unterstützt wird.

Solange kein Strom durch die Spulen fliesst, wird der Anker durch die Kraft der Feder F abgedrückt und von den Polstücken fern gehalten. Der Ingangsetzung des Wagens steht sonach weder ein magnetischer, noch ein Reibungswiderstand im Wege. Wird aber Strom in die Spulen geleitet, so ziehen die Elektromagnete, indem sie die Federkraft überwinden, den Anker an sich heran, und es tritt zwischen dem letzteren und den Polschuhen eine enge Berührung ein, welche einen bedeutenden Reibungswiderstand verursacht. Befindet sich also während der Fahrt die Wagenachse und mit ihr der Anker in Rotation, so wird diese Drehung durch keinerlei Widerstand gehemmt, solange als die Bremse durch Stromeinleitung nicht bethätigt wird. Die Bremsung erfolgt durch Schliessung des Stromkreises; die nächste Folge davon ist, dass die solcherart stark erregten Elektromagnete in den Anker Wirbelströme induzieren,

wodurch ein kräftiger elektromagnetischer Widerstand eintritt, welcher — vorläufig ohne Reibung — die Fahrgeschwindigkeit verzögert. Die Elektromagnete können nämlich den Anker nicht anziehen, weil nebst der Federkraft noch die Flugkraft der Gewichte der magnetischen Anziehung entgegenwirkt. Erst wenn durch die elektromagnetische Bremsung die Fahrgeschwindigkeit so weit abgenommen hat, dass letztere Wirkung erlahmt, überwindet die magnetische An-

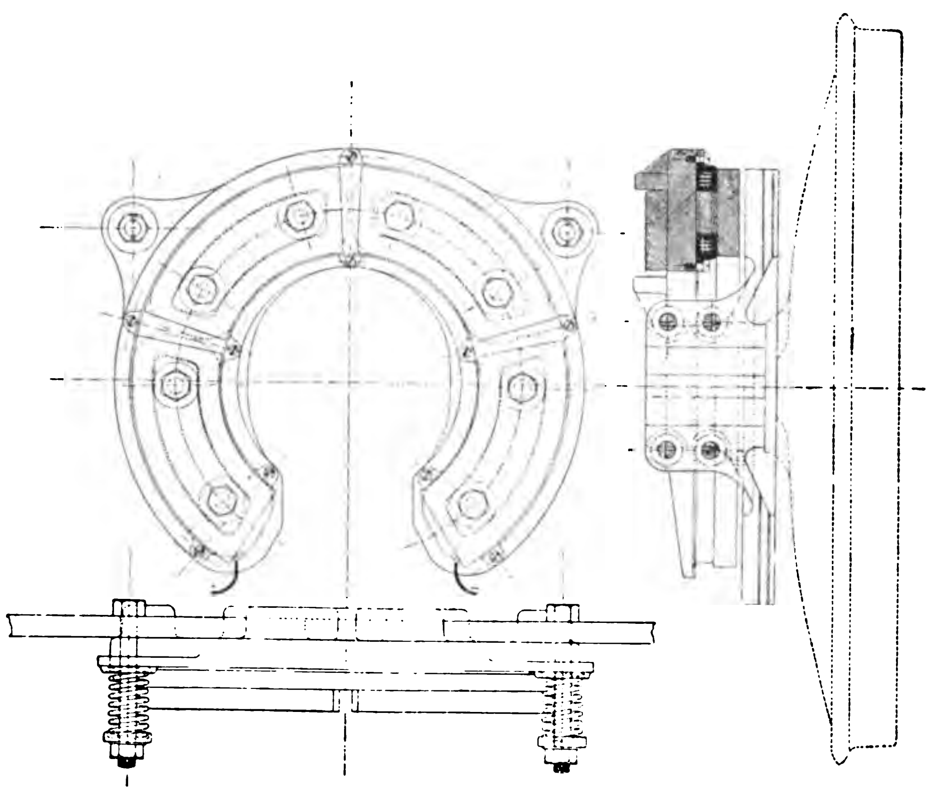


Fig. 390.

ziehung die Gegenkraft, der Anker wird an die Polschuhe angezogen, die Reibung tritt in Wirksamkeit und der Wagen wird vollständig abgebremst, sofern Netzstrom durch die Magnetwindungen geleitet wird. Diese Bremse stellt eine Kombination der Fischinger'schen Bremse mit der Unions- und Siemens & Halske'schen Bremse dar, bei denen nur allein eine Feder das Abdrücken der Bremsscheibe besorgt. Die Wirkung der Fluggewichte ist neu.

Eine konstruktive Abänderung dieser Deri'schen Bremse unter Beibehaltung des gleichen Grundgedankens ist die Magnetbremse der Helios Elektricitäts-A.-G. in Köln-Ehrenfeld. Beschreibung und Zeichnung derselben ist in der ETZ 1899, Heft 49, S. 857 u. 858 enthalten.

Bei der elektromagnetischen Bremse System Walker (Fig. 390 und 391) steht der, wie vorher, auf der Achse befestigten Bremsscheibe ein hufeisenförmiges System von Bremsmagneten gegenüber. Dieselben besitzen eine gemeinschaftliche Jochplatte. So lange kein Strom durch die Magnetwindungen fliesst, wird das Joch durch Federn von der Bremsscheibe abgedrückt. Sobald jedoch die Bremsmagnete erregt werden, entsteht ein kräftiges magnetisches Feld. Die Bremsscheibe rotiert in demselben und schneidet hierbei Kraft-

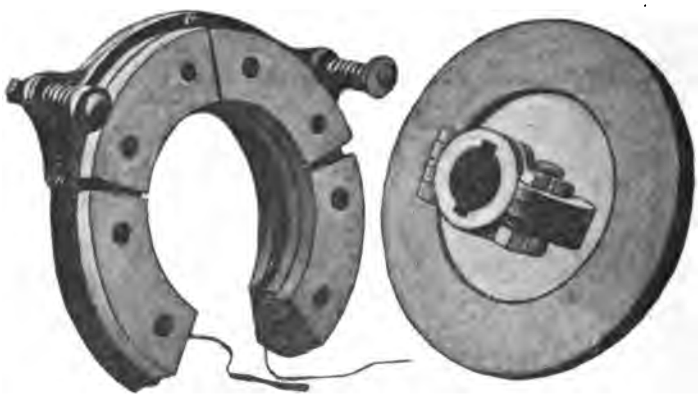


Fig. 391.

linien von wechselnder Dichte und Richtung, wodurch in derselben ebenfalls Wirbelströme, die der Bewegung entgegenwirken, induziert werden.

Wirksamer als Achsenscheibenbremsen sind magnetische Schienenbremsen, da bei ihnen die grösste Geschwindigkeit zwischen dem Wechselfeld und der feststehenden Eisenmasse ausgenutzt wird und somit die Magnetwirkung am stärksten sein kann.

In Fig. 392 ist dieselbe dargestellt und im II. Band, Kapitel VIII, 2 eingehend beschrieben. Obgleich diese Schienenbremse bei Steilbahnen ihre grösste Wirkung zeigt, ist sie auch bei Flachbahnen jeder Art voll und ganz wirksam.

Der bei allen nach dem Sperry-System eingerichteten Magnetbremsen vom Motor, als Generator arbeitend, erzeugte Strom bewirkt, dass die Motorachse intensiver gebremst wird, als die mit der Magnetbremse versehene Achse, weil bei etwa gleichem Durchmesser des

Motorankers und der Bremsscheibe der Anker die 4—5fache Geschwindigkeit besitzt. Zudem kommt, dass die Bremsflächen der Achsenbremse niemals gänzlich von Schmiere und Öl frei gehalten werden können. Die Wickelungen der Magnetbremse dienen dem Motor als Bremswiderstand und der Motor bremst unter grosser Wärmeerzeugung, was man eben vermeiden will.

Die gusseiserne Bremsscheibe besitzt in der Regel einen etwa 20 *cm* geringeren Durchmesser, als das Laufrad. Um die während der Strombremsung erwünschte starke Friktion zwischen der Bremsscheibe und den Magnetpolen zu erreichen, muss der Luftwiderstand zwischen den Magnetpolen und der Scheibe auf Null verringert werden, d. h. das Magnetsystem muss der Scheibe genähert und nach der Bremsung wieder entfernt werden können. Die Näherung erfolgt durch den entstehenden Magnetismus selbst, und die Wieder-

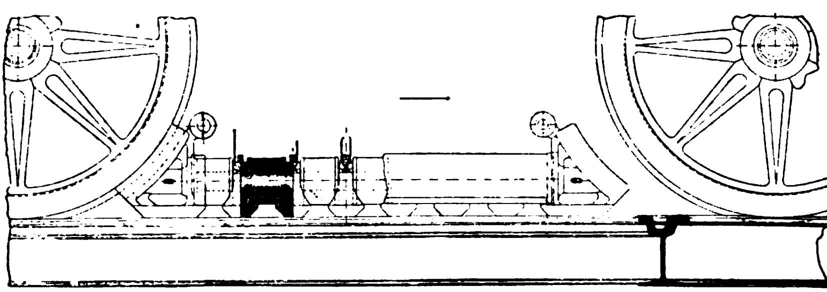


Fig. 392

entfernung nach Abschalten des Bremsstromes durch eine abdrückende Feder. Der Magnetismus, welcher zunächst den Luftwiderstand und den Federdruck überwinden muss, um die Pole an die Bremsscheibe zu bringen, muss eine gewisse Höhe erreicht haben und wirkt nach Überwindung dieser Widerstände plötzlich sehr stark auf die Eisenscheibe, sodass ein Ruck in der Bremswirkung erfolgt. Es liegt daher nahe, diesen Luftwiderstand möglichst zu verringern, oder ihn ganz zu vermeiden. Lässt man die Bremsscheiben stets an den Polflächen, wenn auch ausser der Bremsung ohne Druck, schleifen, so ist eine Schmierung der beiden Flächen nötig, um jede schädliche Wärmeentwickelung beim Leerlauf zu verhindern, welche etwa noch durch remanenten Magnetismus bewirkt werden könnte. Geölte Flächen werden indess nicht die grösste Reibungsarbeit erreichen lassen.

Um die Vorteile der magnetischen Bremse mit denen der mechanischen zu vereinigen, sind Konstruktionen vorgeschlagen worden, bei denen der beliebig geformte Elektromagnet auf das gewöhnliche

Bremsgestänge einwirkt. Fischinger giebt in der ETZ 1899, Heft 18, S. 314 die Beschreibung einer derartigen »Elektrischen Betriebs- und Notbremse für Anhängewagen elektrischer Bahnen«. Hier wirken cylindrische Elektromagnete direkt auf die Bremshebel ein, welche ihrerseits mit Bremsbändern, die auf Bremsscheiben schleifen, in Verbindung stehen. Ausserdem hält ein besonderer und ständig erregter Elektromagnet das Bremsband offen, solange der Anhängewagen vom Motorwagen Netzstrom erhält. Reisst die Kuppelung zwischen Motor- und Anhängewagen, dann lässt dieser Magnet los und bringt die Bremsbänder zum Anliegen.

Eine andere Konstruktion (Union El.-Ges.) geht darauf hinaus, die Magnetscheibe der Sperry-Bremse so mit einer Kettennuss zu kuppeln, dass diese letztere beim Bremsen eine Bremskette auf die Achse aufwickelt, welche ihrerseits wieder die Bremstraverse und die Bandagenbremsklötze zur Bremswirkung bringt. Diese Bremse ähnelt der Heberleinbremse, bei der die Friktionsscheibe statt durch Gewicht, durch Magnetismus zum Anliegen an die Kettennuss gebracht wird.

Von Corsepius wurde folgende Anordnung für Nutzbremszwecke vorgeschlagen: Im Motorwagen werden einige Akkumulatorenzellen einer kleinen transportablen Type untergebracht, welche während der Bergfahrt so in den Hauptstrom eingeschaltet werden, dass sie sich durch denselben laden. Bei der Thalfahrt wird der Anker des Hauptstrommotors direkt an die Leitung (Oberleitung und Schienen) angeschlossen, die kleine Hilfsbatterie aber auf die Schenkelwickelung des Motors geschaltet. Hierdurch erhält der Motor (oder die Motoren) den erforderlichen Magnetismus und ist so befähigt, Strom zu erzeugen, der ohne weiteres nutzbar wieder in die Leitung geführt werden kann. Geht derselbe in die oberirdische Leitung, so fliesst er den berganfahrenden Wagen zu und entlastet dadurch die Betriebsmaschine. Ebenso ist es natürlich möglich, eine stationäre Batterie an die Leitung anzuschliessen und durch den wiedergewonnenen Strom zu laden oder eine im Wagen selbst befindliche und dauernd (wie bei reinem Akkumulatorenbetrieb) oder zeitweise (wie bei gemischtem Betrieb mit Akkumulatoren und Oberleitung) den Betriebsstrom liefernde Batterie die Bremsenergie aufnehmen zu lassen. Man vermeidet bei dieser Anordnung die Nachteile des Nebenschlussmotors, der bei seiner Stromwiedergabe ebenfalls Bremswirkungen auf seinen Wagen ausübt.

Eine unter D. R. P. 93 131 bekannt gewordene elektrische Bremse ist dieser vorstehenden ähnlich. »Die Laufachse des Wagens ist mit dem Anker einer Dynamomaschine verbunden, sodass beim Schliessen der Maschine die im Wagen aufgespeicherte Energie in elektrische

Energie umgewandelt wird. Zu jeder Maschine gehört eine kleine Akkumulatorenbatterie, die den nötigen Erregerstrom liefert. Die Schaltung ist nun so getroffen, dass durch den erzeugten Strom zunächst die Akkumulatoren geladen werden, während die bremsende Kraft gering ist. Dann werden die Akkumulatoren ausgeschaltet, der Anker arbeitet auf einen Widerstand bei kräftiger Bremsung und im dritten Teil wird der Anker kurz geschlossen.«

Über die Art der Bremsschaltung ist im allgemeinen wenig zu sagen. Die späterhin gegebenen Schaltungsschemata zeigen die Schaltstufen.

Für motorische und elektromagnetische Bremsen bietet die nachfolgende, durch D. R. P. 103 267 geschützte Schaltungsweise den Vorteil, dass beim Übergang von elektrischer auf elektromagnetische Bremse erstere nicht ausgeschaltet wird, in der Endbremsstellung mithin beim Versagen des Betriebsstromes immer noch mit

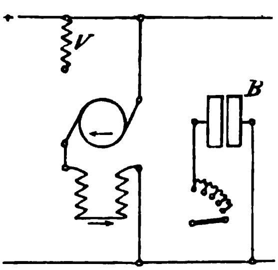


Fig. 393.

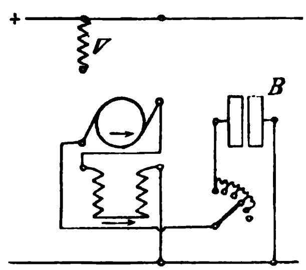


Fig. 394.

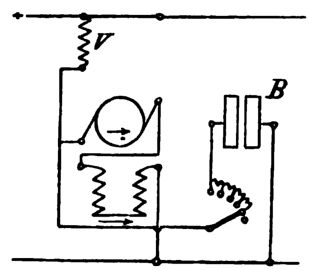


Fig. 395.

Kurzschluss gebremst werden kann, wodurch die Wirksamkeit der elektrischen Bremse von der Intelligenz der Wagenführer unabhängig wird. Es wird dieses dadurch erreicht, dass der kurzgeschlossene Motor in der Weise an die Fahrleitung angeschlossen wird, dass im Elektromotor die Richtung des von der Leitung kommenden Stromes dieselbe ist, wie die Richtung des vom Motor beim Kurzschlussbremsen erzeugten Stromes.

Soll der fahrende Wagen gebremst werden, so wird aus der Schaltung Fig. 393 die Schaltung Fig. 394 hergestellt, und der von der Oberleitung getrennte und gleichzeitig umgeschaltete Motor erzeugt Strom, welcher die elektromagnetische Bremse B zur Wirkung bringt. Es tritt also die gewöhnliche Wirkung der Kurzschlussbremse ein.

Wird die Steuerung in die Stellung (Schaltung Fig. 395) gebracht, so tritt die Wirkung der gewöhnlichen Gegenstrombremse ein, d. h. es wird der Motor entweder von dem Betriebsstrom rückwärts gedreht, oder aber es erhöht der Motor die Spannung der

Betriebsleitung, wobei in jedem Falle die elektromagnetische Bremse mit einem Strom entsprechend der Klemmenspannung des Motors gespeist wird. Damit die Stromstärke im Motor nicht zu hoch ansteigt, ist demselben der Widerstand V vorgeschaltet. Versagt die Gegenstrombremse infolge Unterbrechung des Betriebsstromes, so ist ersichtlich, dass die Kurzschlussbremse in derselben Weise zur Wirkung kommen muss, wie in der Stellung (Schaltung Fig. 394) der Steuerung.

Ehe es gelungen war, durchgehende elektrisch betriebene Bremsen wirksam zu gestalten, hatte man die Luftdruckbremsen bei einigen elektrischen Strassenbahnen (Grosse Leipziger Strassenbahn, Oberschlesische Strassenbahnen) in Anwendung gebracht. Der Vorzug der Luftdruckbremsen liegt in der Unabhängigkeit vom elektrischen Strom und in der Bremsung bis zum Stillstand des Wagens, als Nachteil gilt der hohe Anschaffungspreis und der ständige Kraft- oder Stromverbrauch (15—18 %) zum Bewegen der Luftpumpen bezw. zum Akkumulieren der Bremsarbeit.

So zufriedenstellend die Wirkung der Luftdruckbremse, als Gefahrbremse auch sein mag, als Betriebsbremse beim elektrischen Betriebe ist sie noch weit davon entfernt, die Ansprüche zu erfüllen.

Zur Ausrüstung der Strassenbahnwagen mit Luftdruckbremsen würde ein Excenter an der Achse oder ein Motor zur Erzeugung der Bremskraft nötig sein, eine Luftpumpe, ein Reservoir für die Bremsbetriebsluft, ein Druckmesser und der Bremsapparat; dass alle diese Dinge, bei ihrer teilweisen Kompliziertheit, schweres Geld kosten, weiss jeder Techniker, wie auch, dass die Unterbringung derselben unter dem Wagenkasten auf grosse Schwierigkeiten stösst. Rechnet man noch zu den teuern Anschaffungskosten die laufenden Betriebs- und die bei dem komplizierten Mechanismus der Erneuerungsteile recht erheblichen Unterhaltungskosten, dann wird man wohl einsehen, dass die Einführung der Luftdruckbremse für den Strassenbahnbetrieb überflüssig geworden ist, weil die elektrischen Bremsen den gleichen Zweck erfüllen, einfacher und billiger sind.

Über elektrische Schnellbremsung und Nutzbremsung hat Baumgardt in der ETZ 1895, Heft 13, S. 184, eingehende Berechnungen angestellt.

g) Sandstreu-Apparate.

Die Adhäsion zwischen Rad und Schiene findet ihre natürliche Grenze bei dem Reibungskoëffizienten zwischen den aufeinander arbeitenden Flächen. Zwischen Rad und Schiene ist 1 : 7 die theo-

retische Grenze, jedoch ist die Beschaffenheit der Schiene bei den verschiedenen Witterungsverhältnissen nicht immer eine solche, dass man mit dem theoretischen Reibungskoëffizienten rechnen darf, vielmehr muss bedeutend früher für eine Adhäsionsvermehrung zwischen Rad und Schiene gesorgt werden, wenn der Wagen gefahrlos Steigungen und Gefälle von 1 : 15 bis 1 : 10 überwinden soll. Bis zur Adhäsionsgrenze zu gehen, verbietet die praktische Erfahrung aus Sicherheitsgründen. Die Dampfbahn hat für die Vermehrung der Adhäsion ihr Dampfstrahlgebläse, welches entweder reinen Dampf zwischen Rad und Schiene bläst oder durch den Dampfstrahl Sand aus dem Sandkasten der Lokomotive zwischen Rad und Schiene führt, und besitzt mit dieser Vorrichtung einen einfachen, brauch-

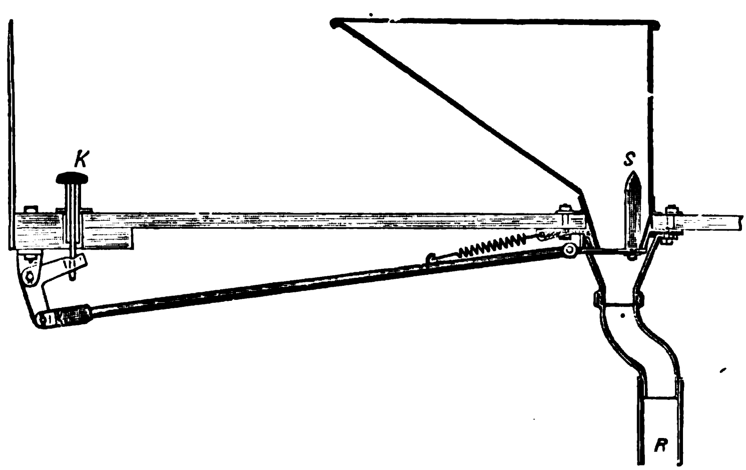


Fig. 396.

baren und längst bewährten Apparat. Für elektrische Wagen hat man mehrfach Konstruktionen angewendet, welche den Sand durch Rüttelwerke, Transportketten oder Transportschnecken körnerweise auf die Schienen streuen sollen. Diese Rüttelwerke u. s. w. werden vom Wagenführer in Bewegung gesetzt, sobald die Adhäsion vermehrt werden muss. Ein Mangel dieser Sandstreu-Apparate ist jedoch, dass nasser Sand unweigerlich das Funktionieren des Sandstreu-Apparates in Frage stellt. Es sind daher mehrere Konstruktionen üblich geworden, um diesem Übelstand zu begegnen. Die einfachste Methode, Sand auf die Schienen zu streuen, besteht darin, dass an die Perronvorderwand ein kleiner Trichter mit langem, fast bis auf die Schienen reichendem Rohr gehängt und im Bedarfsfalle vom Wagenführer mit der Hand gefüllt wird. Der hierzu erforderliche, möglichst fein gesiebte Sand wird in einem besonderen Kasten

am Vorderperron des Motorwagens mitgeführt. In den Kurven kann dieser Apparat natürlich nicht die Schienen bestreuen, sondern das daneben befindliche Pflaster. Da aber bei Rillenschienen das Rad in der Kurve klemmt, so ist die Adhäsionsvermehrung hier überflüssig. Man hat auch diesen kleinen Trichter mit aufklappbarem Deckel und von aussen zu bethätigender Ventilklappe versehen, um im Bedarfs- und Notfalle den ersten Griff zum Sandvorrat zu ersparen. Vervollkommnetere Konstruktionen werden durch die nachfolgenden Bilder veranschaulicht.

Aus Fig. 396 ist ersichtlich, dass, wenn der Führer auf den Knopf K tritt, der auf dem Schieber befindliche Stift S im Sandtrichter hin- und herbewegt wird, wodurch einmal der Sand an der

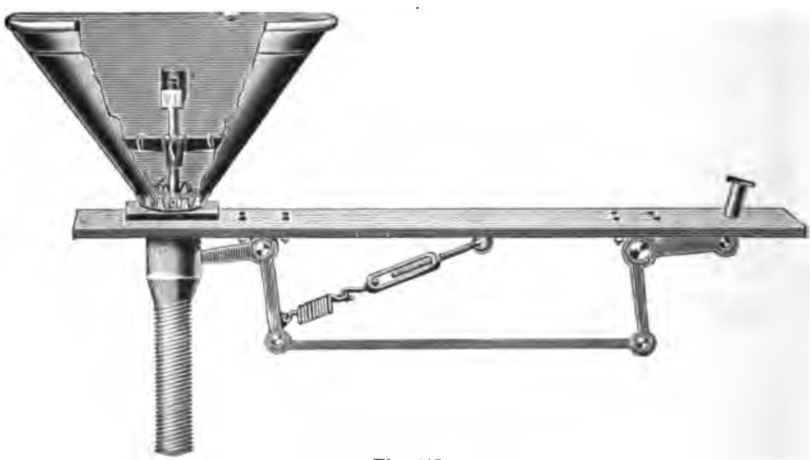


Fig. 397.

Trichteröffnung in Bewegung gesetzt und anderseits durch die Trichteröffnung ein Herabfallen des Sandes in das Rohr R ermöglicht wird. Der Stift hat den Zweck, zu verhindern, dass nasser Sand sich an dem engsten Teil des Trichters festsetzt und vielleicht den noch trockenen Sand der oberen Schichten nicht mehr nachdringen lässt. Die Konstruktion ist einfach und hat sich in dieser Form gut bewährt. In Fig. 397 ist eine Vorrichtung gezeigt, welche nicht durch einen schiebenden Stift eine Lockerung des Sandes verursacht, sondern durch einen sich hebenden und senkenden Quirl, der die Öffnung zeitweise verschliesst und wieder frei macht. Während in Fig. 396 die Öffnung und Verteilung des Sandes durch eine hin- und hergehende Bewegung erfolgte, ist sie hier durch eine vertikal auf- und abgehende Bewegung bewirkt. Es ist bei dieser Konstruktion nicht ausgeschlossen, dass sich in den Gelenken des

Quirls Sand festsetzt und dann das Hin- und Herbewegen vom tiefsten bis zum höchsten Punkt erschwert, wenn nicht unmöglich macht. Ausserdem besitzen beide dargestellte Konstruktionen den unleugbaren Nachteil, dass mehrere Hebel und Federn zur Bethätigung der Sandstreuung Gelegenheit zum Versagen geben können. Diesen Übelstand vermeidet der in Fig. 398 und 399 dargestellte Sandstreuer, der an Einfachheit und Zuverlässigkeit nichts zu wünschen übrig lässt.

Derselbe vermeidet Lager, Gleitflächen, Walzen, Schieber, Ventile und Gelenke im Bereiche des Sandes, wodurch ein Versagen solcher Teile ausgeschlossen ist. Es kann niemals eine grössere Menge Sand gestreut werden, als dem Hub des Hebels Hentspri cht, und im Sande befindliche Steinchen ziehen keine Verstopfung nach sich.

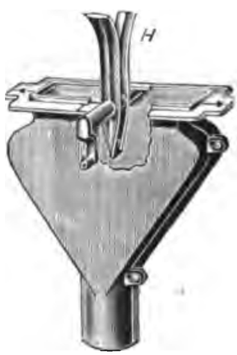


Fig. 398.



Fig. 399.

Seine Bewegung erfordert keine grosse Kraft. Der natürliche Böschungswinkel des Sandes in der unteren Mulde hat zur Folge, dass bei jedem Hebelhub eine ganz bestimmte Sandmenge zum Abfallen gelangt, und dass sich von selbst die neue Streumasse für den nächsten Hub bereit legt. Sämtliche Teile sind aus Bronzemetall hergestellt und der Kasten aus zwei symmetrischen Teilen zusammengesetzt. Der Hebel H kann entweder direkt vom Wagenführer hin- und herbewegt werden, wenn der Apparat am Vorderperron angebracht ist, oder er kann durch einen Schnurzug mit zurückziehender Feder bethätigt werden, wenn er in der Mitte des Wagens zwischen den Rädern oder im vorderen Teil des Wagenkastens dicht vor den Rädern liegt.

Ein bei der Drehstrombahn in Aix-les-Bains angewandter Sandstreuer gewährleistet eine sehr vollkommene Wirkung. Unter jedem Perron des Wagens ist ein Zylinder aus Schwarzblech angebracht, welcher nach unten zwei Führungen besitzt, die den Sand

unter die Räder leiten; dieser feststehende Zylinder hat im Innern einen beweglichen Zylinder, welcher mit Sand gefüllt ist und zwei Öffnungen besitzt. Ein vom Perron aus zu bethätigender Drehzapfen gestattet diesem Zylinder, eine halbe Umdrehung auszuführen, wodurch die beiden Öffnungen desselben sich mit den beiden oben erwähnten Führungen des feststehenden Zylinders decken. Bei jeder Bewegung des Sandstreuers wird der zusammenhängende Sand lebhaft geschüttelt und das Bestreuen der Schienen geschieht mit der grössten Sicherheit und Leichtigkeit.

h) Wagenschutzvorrichtungen.

Bei elektrischen Strassenbahnwagen, welche soviel schneller als andere Wagen laufen, erfordern die Bahnräumer besondere Aufmerksamkeit.

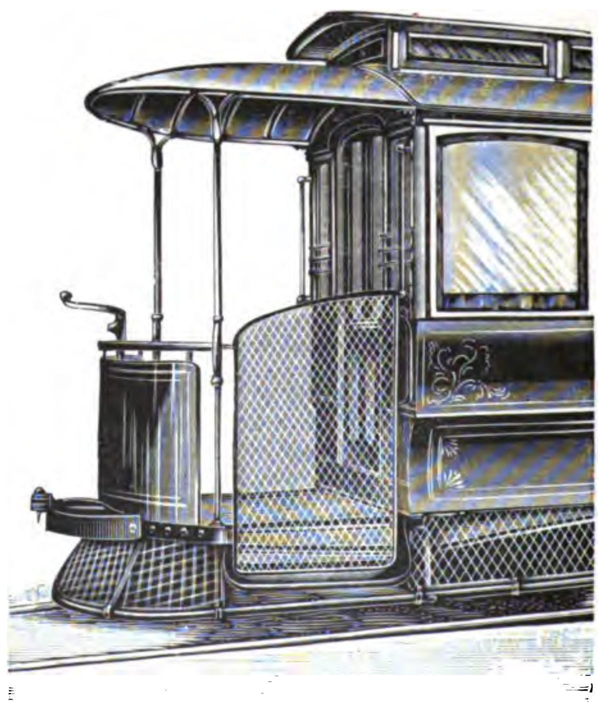


Fig. 400.

Ein nur wenige Centimeter über der Schienenoberfläche am Hauptrahmen aufgehängtes Gestell aus Flacheisen und Brettern ist die einfachste und wirksamste Art der Ausführung. Nach den beiden

Plattformen des Wagens läuft dies Gestell in einen flachen Winkel von ca. 120° aus, dessen Schenkel auf der Strecke liegende Körper zur Seite schieben.

Ein Mantel aus Drahtflechtwerk oder gelochtem Blech zieht sich bei einzelnen Ausführungen um den ganzen Raum unter den beiden Plattformen und Wagenseiten hin und gewährt damit auch seitlich einen Schutz gegen Unfälle.

Es stehen zwei Konstruktionsbedingungen einander gegenüber, deren jeweilige Erfüllung immer einen Kompromiss in sich schliesst. Diese Bedingungen sind: geringste Entfernung zwischen Bahnräumer und Pflaster zum Schutze, und grössere Entfernung zwischen diesen Teilen zum Zwecke der Erhaltung des Bahnräumers und Vermeidung der Entgleisungsgefahr.

Für die Bahnräumer sind konstruktiv drei Befestigungsarten unterscheidbar, deren erste diejenige ist, welche in fester Verbindung mit dem Wagenkasten ist und mit diesem alle Schwankungen und Federungen mitmachen muss. Ein derartiger Bahnschutz ist durch Fig. 400 gekennzeichnet. Der Vorteil dieses Systems ist, dass weder

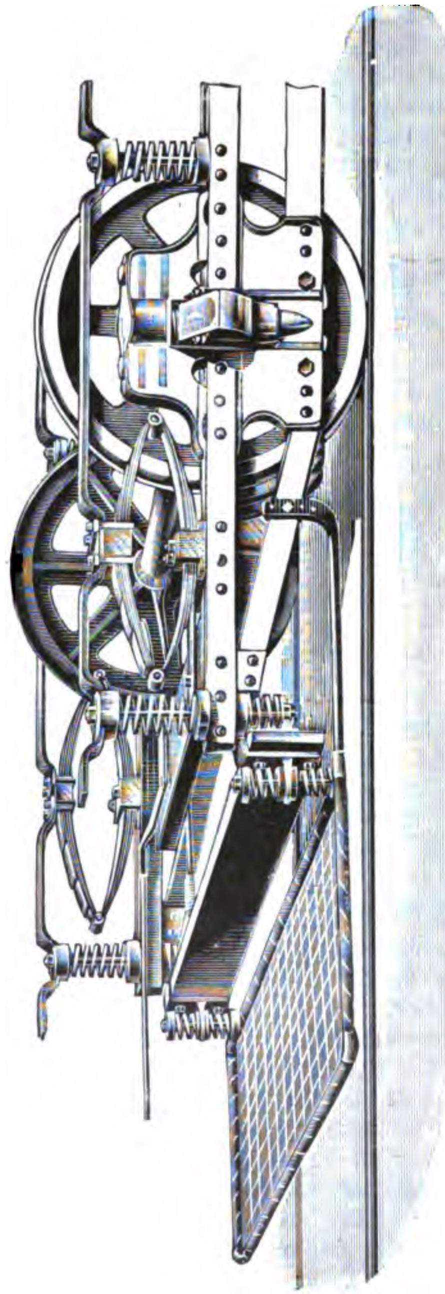


Fig. 401.

vorn noch seitwärts irgend eine Person, Tier oder Gegenstand unter den Wagen gelangen kann, wenn der Wagen nicht auf- und niederschwankt (Drehgestellwagen). Der Nachteil liegt in der verloren gehenden Bremslänge des Wagens und in der Möglichkeit, dass ein vor dem nickenden Wagen liegender Körper in vertikaler Richtung gequetscht werden kann. Die Entfernung der untersten Kante des Bahnräumers von der Pflaster- bezw. Schienenoberkante muss mindestens 10 *cm* sein, um ein Fortschieben des gefährdeten Körpers und nicht ein Überholen desselben zu erreichen. Selbst einer stehenden Person kann ein derartiger Bahnräumer Unheil bringen, da die Füsse im Gelenk gebrochen werden, wenn die unterste Kante dagegen

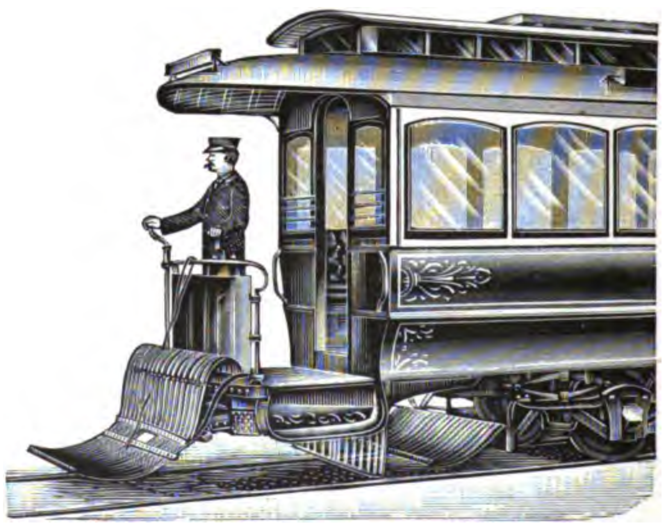


Fig. 402.

stösst. Ein grosser Teil der Übelstände wird behoben, wenn der Bahnräumer erst dicht vor den Rädern angebracht wird. Hierdurch wird die Bremslänge vergrössert und die durch das Stampfen bedingte Entfernung verringert. Die zweite Möglichkeit der Befestigung ist direkt an den Rädern oder am Untergestell, wie Fig. 401 zeigt. Da das Untergestell zumeist nur geringe Federung besitzt, kann die lichte Entfernung zwischen Unterkante - Bahnräumer und Oberkante-Pflaster sehr gering sein. Um diese jedoch im Falle der Gefahr gleich Null zu erhalten, soll die Berührung mit dem gefährdeten Körper genügen, um den Bahnräumer vollends hinunterzudrücken. Grundsätzlich muss man bestrebt sein, den gefährdeten Körper unversehrt aufzufangen und ihn solange zu schützen, bis der Wagen steht. Ein durch die in Fig. 401 dargestellte Schutzvorrichtung

Abgefangener kann noch über den vertikalen Brettschutz geschleudert werden; darum hat man Formen gewählt, wie sie die Fig. 402 zeigt, wobei zugleich die Möglichkeit einer Kombination von 400 und 401 angedeutet wird; die dritte Art einer wirksamen Schutzbefestigung



Fig. 403.

zeigt Fig. 403 in Form eines besonderen einachsigen Wagens. Dass man hiermit alles erreichen kann, was nach vorstehenden Grundsätzen gefordert wird, geht ohne weiteres aus der Zeichnung hervor.

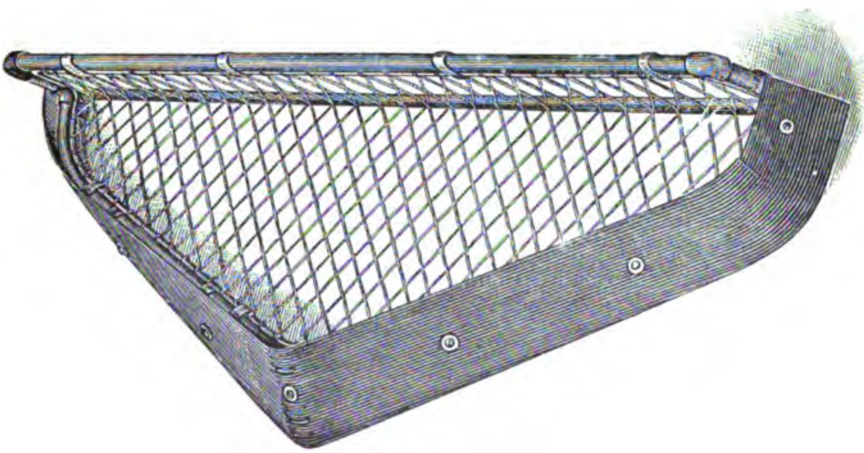


Fig. 404.

Wenn Schutzvorrichtungen ein gewisses Mass an Einfachheit überschreiten, dann werden sie lästig, wenn sie aber das höchste Mass der Sicherheit erreichen, dann lassen sie die Höhe der Gefahr vergessen und bieten so eine neue Gefahr.

Die beste Schutzvorrichtung ist und bleibt eine sicher und schnell wirkende Bremse und solange man diese noch nicht hatte, solange musste man sich mit den verschiedensten Schutzkonstruktionen befassen. Heute kann die Bremsfrage als soweit gelöst angesehen werden, dass wir mit den einfachsten Schutzvorrichtungen auskommen können. Als solche kann die in Fig. 404 gezeigte gelten. Das hier verwendete Leder kann man zweckmässig auch durch Holz ersetzen. Diese Schutzvorrichtung kann man direkt an das Untergestell anschrauben.

Der Hamburger Bezirksverein deutscher Ingenieure hatte es sich vor einigen Jahren angelegen sein lassen, Klarheit über die geeignetste Schutzvorrichtung zu schaffen. Der hierfür eingesetzte Ausschuss brachte folgenden Bericht, nachdem er die sämtlichen ihm zugänglich gewesenen Schutzmassregeln beachtet und durchberaten hatte.

»Die elektrischen Wagen besitzen nur geringen Achsenstand im Verhältnis zur Länge des Wagenkastens, der ausser aus anderen Gründen auch wegen der Notwendigkeit, Kurven von geringem Radius durchfahren zu müssen, so kurz gewählt ist. Der lange Wagenkasten ruht auf Federn, wodurch starke Schwankungen auf und nieder unvermeidlich sind. Je schneller ein Wagen fährt, desto erheblicher werden die Schwankungen. Alle Schutzvorrichtungen, welche an dem Wagenkasten befestigt werden, machen diese Schwankungen mit und müssen daher so hoch über den Schienen und dem Strassenpflaster angebracht werden, dass sie auch während des Schwankens des Wagenkastens diese nicht berühren, d. h. mehr als 12 *cm*. Alle Vorrichtungen dieser Art können, wenn der Unfall passiert, während der Wagen seine Schwankung nach unten hat, den auf den Gleisen liegenden menschlichen Körper aufnehmen und retten. Dieser Fall ist selten. Ist im Gegenteil die Schwankung nach oben, so gerät der menschliche Körper unter die Vorrichtung. Dieser Fall ist ebenso selten. Beim dritten, gewöhnlichen Fall ist die Lage des Wagenkastens wagerecht, die senkrechte Entfernung zwischen Schienen und Schutzvorrichtung ist mindestens 12 *cm*. Arme und Beine des menschlichen Körpers geraten unter die Schutzvorrichtung, diese hebt sich und streicht über den Körper straff hinweg, sodass er stark beschädigt unter den Wagenkasten zu liegen kommt: Es wird in den meisten Fällen wegen der Rauheit des Strassenpflasters und der Beweglichkeit der Schutzvorrichtungen der Vorgang in dieser Weise verlaufen, selten wird der Verunglückte auf dem Pflaster fortgeschoben werden. In jedem Falle geht es kaum ohne Arm- und Beinbrüche oder noch Schlimmeres ab. Dieser Vorgang spielt sich bei allen Schutzvorrichtungen ab, die vorn am Wagenkasten angebracht sind. Vorrichtungen, welche im Augenblick

des Anstossens an einen Widerstand aushaken oder in anderer Weise zu Boden fallen sollen, etwa auch durch das Eingreifen des Führers ausgehakt werden, wirken fast ausnahmslos zu spät, weil zum Aushaken und Niederfallen immerhin Zeit gehört. Sie werden auch in den meisten Fällen zerbrechen, wenn sie über dem rauhen Strassenpflaster hinstreichen. Bei langsamer Fahrt aber sind Schutzvorrichtungen kaum nötig, weil der Führer des Wagens rasch genug bremsen kann. Dagegen werden bei schneller Fahrt die Übelstände an dieser Art von Vorrichtungen so gross, dass die Gefahren grösser werden, als der Nutzen. Auch Anbringung von Asphaltpflaster zwischen den Schienen würde diese Übelstände nur verringern, allerdings in erheblichem Masse, sie aber nicht vollständig beseitigen. Bei kurzen Wagen ist auch das Schwanken nur gering. Daher genügen dort die einfachen Schutzkörbe, die sich kurz über dem Pflaster bewegen. Um ähnliche Verhältnisse an den langen elektrischen Wagen zu schaffen, müssen die Schutzvorrichtungen an den einzig festen, nicht schwankenden Teilen des Wagens, das sind die Achslager und Untergestelle, befestigt werden. Diese Vorrichtungen brauchen nur soweit über den Schienen angebracht zu werden, als durch die Steigungen nötig wird. Schwankungen brauchen hier kaum berücksichtigt zu werden. Einschaltung selbstthätiger Bremsen oder Schuhe, die sich auf das Geleise legen, oder plötzliches Umschalten des Stromes bewirkt zwar rasche Hemmung des in der Fahrt befindlichen Wagens, kann aber infolge der dem Wagen innewohnenden lebendigen Kraft einen Rückstoss verursachen, der unter Umständen Verletzungen der Insassen des Wagens im Gefolge haben kann. Schutzvorrichtungen, die sich unmittelbar vor den Rädern befinden, gewähren während der Fahrt für den Verunglückten eine Sicherheitsstrecke von etwa $2^1/_2$ *m* unter dem Wagenkasten, die freilich bei 5 m/sekund. Wagengeschwindigkeit nur etwa eine halbe Sekunde schützt. Bei vielen Vorrichtungen hat, wie schon kurz erwähnt, der Fahrer durch irgend einen Handgriff die Schutzvorrichtung zu senken und Gegenstrom zu geben. Geschieht dies zu spät, so treten alle oben geschilderten Übelstände ein, und die Vorrichtung schadet mehr als sie nutzt. Ein Führer kann Jahre lang fahren, bis es vorkommt, dass plötzlich ein Mensch unmittelbar vor seinem Wagen angefahren wird oder zu Fall kommt. Sehen, den Fall begreifen, den betreffenden Handgriff thun, das Senken der Vorrichtung, das alles nimmt Zeit in Anspruch, wenn auch noch so kurze. Wenn nun der Führer sehr geistesgegenwärtig ist oder instinktiv die nötigen Handgriffe thut, so kann der gefährdete Mensch gerettet werden. Wenn das aber nicht der Fall ist, vielmehr der Führer nur einen Augenblick erschrickt, so ist anzunehmen, dass der gefährdete Mensch unter die

Schutzvorrichtung des durch die lebendige Kraft noch weiter fahrenden Wagens gerät. Vorstehende Bemerkungen stützen sich auf Prüfung

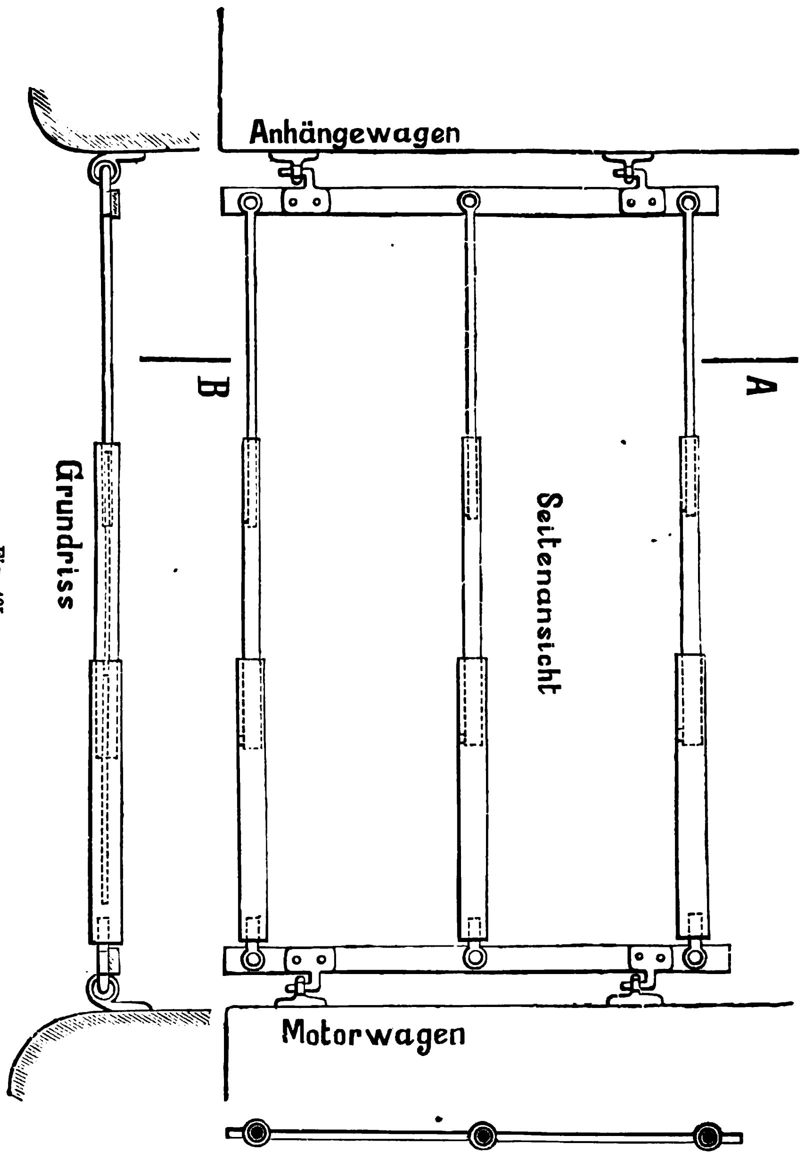


Fig. 406.

aller dem Ausschuss zugänglich gewesener Schutzvorrichtungen, auch der zahlreichen amerikanischen (133 der wichtigsten). Es ist dem

Ausschuss bis jetzt noch keine Vorrichtung bekannt geworden, welche er als unbedingt fehlerfrei empfehlen könnte. Er empfiehlt diese Bemerkungen als Richtschnur für die Konstruktion von Schutzvorrichtungen und zur Beurteilung von deren Brauchbarkeit.«

Die in Fig. 405 dargestellte Schutzvorrichtung zwischen Motor- und Anhängewagen soll verhindern, dass der Fahrgast, welcher vom hinteren Perron des vorderen Wagens absteigt und nicht daran denkt, dass noch ein Anhängewagen dahinter ist, zwischen die beiden Wagen treten kann. Er ist es von den einzeln fahrenden Motorwagen gewöhnt, hinter dem Wagen abzubiegen, um auf die andere Seite der Strasse zu gelangen. Abgesehen davon, dass es grundfalsch ist, hinter einem stillstehenden oder gerade erst abfahrenden Wagen das Nachbargleis zu überschreiten, weil ein auf dem anderen Gleise ankommender Wagen den Passanten überfahren könnte und weil weder der Passant, noch der andere Wagenführer einander bemerken, geschieht es oft genug, dass dieser Fehler gemacht wird. Zahlreiche Unglücksfälle sind diesem Umstande zuzuschreiben gewesen.

Die hier gezeichnete Vorrichtung soll verhindern, dass vor einem Anhängewagen der Fahrgast zur Seite tritt. Unter Fortlassung dieser Schutzvorrichtung geschieht dieses nur zu häufig, und der sich in Sicherheit glaubende Fahrgast wird beim Anfahren des Zuges vom Anhängewagen niedergestossen und überfahren. Diese, an der rechten Seite der Fahrtrichtung, in Höhe des Oberkörpers angebrachte Schutzvorrichtung muss zugleich für die elastischen Bewegungen der Kuppelstange, als auch für die Differenzentfernungen beim Befahren von Kurven konstruiert sein, und ist demnach teleskopartig verschiebbar angeordnet. Die drei horizontal übereinander angeordneten Geländerstangen bestehen aus zwei oder mehreren ineinander greifenden Röhren und einem Rundstab, der sich im engsten Rohre schiebt, und sind gelenkig an jeder Seite in einer vertikalen Lasche angebracht. Diese Lasche ist am Vertikalzapfen in Ösen drehbar, aus welchen das ganze Schutzgeländer ausgehoben werden kann, um es beim Wechsel der Fahrtrichtung umhängen zu können.

Die schützende Verbindung zwischen Motor- und Anhängewagen ist äusserst leicht, sodass sie von einem Mann am Endpunkte der Linie bequem gehandhabt werden kann.

Die Beweglichkeit nach allen Richtungen ist durch diese Vorrichtung gewahrt und bleibt es vor allen Dingen vermieden, scharfe Ecken oder Spitzen den Kleidungsstücken der Passanten zu bieten, wodurch Verletzungen oder Beschädigungen hervorgerufen werden können.

Diese Vorrichtung ist durch Gebrauchsmusterschutz Nr. 94 129 gesetzlich geschützt.

Der gleiche Zweck wird durch Seitenschutzvorrichtungen erreicht, die nach Art einer Nürnberger Scheere vertikal zwischen Motor- und Anhängewagen eingehängt werden.

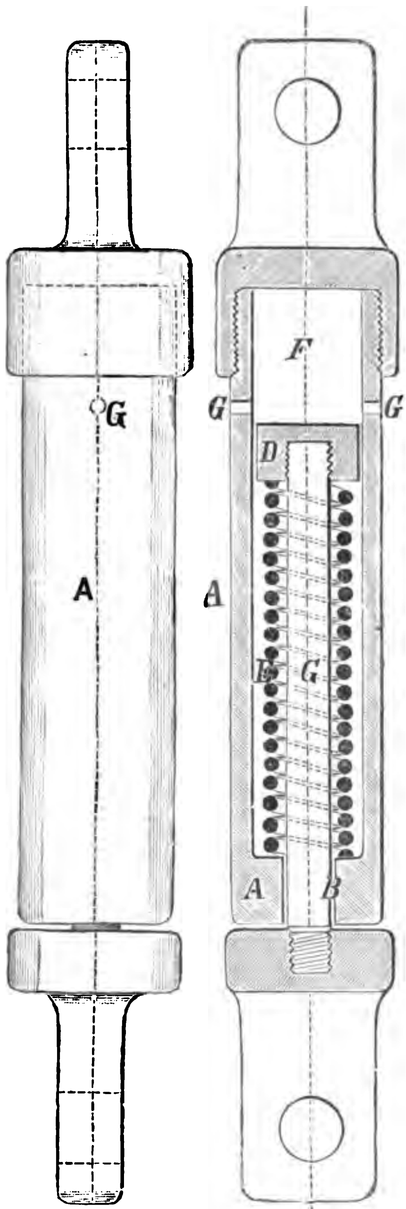


Fig. 406.

Bei motorisch betriebenen Wagen ist man allmählich dazu übergegangen, die Zugänge zu den Aussenperrons während der Fahrt abzuschliessen, sodass einerseits das Ein- und Aussteigen während der Fahrt erschwert werden soll und anderseits die durch die höhere Geschwindigkeit hervorgerufenen Zentrifugalwirkungen in den Kurven für die Fahrgäste, welche sich in der Nähe der Zugänge aufhalten, unschädlich gemacht werden sollen, bezw. um die Fahrgäste vor dem Hinausfallen zu schützen. Diese Bedingung stösst im Betriebe auf Schwierigkeiten, wenn man Perronthüren anwendet, die an den Endstationen umgehängt werden müssen. Man ist deshalb auf Konstruktionen übergegangen, welche ermöglichen, die Perron-Einsteigöffnung abzuschliessen oder zu öffnen, ohne dass die betr. Thür im geöffneten Zustande Platz fortnimmt.

Die diesbezüglichen Forderungen weisen auf Schiebethüren oder Klappthüren hin.

i) Kupplungen.

Die elastische Kupplungsstange zwischen Motorwagen und Anhängewagen, welche in Fig. 406 in Schnitt und Ansicht dargestellt ist, (Deutsches Gebrauchsmuster No. 2916) dient dazu, einen sanften Zug des Motorwagens auf den

Anhängewagen auszuüben, und die sonst unvermeidlichen Stösse beim Bremsen und Anrücken zu umgehen. Man braucht hierbei nicht anzunehmen, dass etwa der Motorwagen nicht sanft angelassen werden könnte; heutzutage wird kaum mehr übersehen, geeignete Abstufungen in der Widerstandsschaltung der Wagenmotoren anzuwenden. Das Stossen erfolgt vielmehr dadurch, dass in dem Kupplungsgestänge toter Gang vorhanden ist, der sich sowohl beim Anlauf, als auch beim Geschwindigkeitsvermindern und Vermehren in Stössen bemerkbar macht, die nur durch Präzisionsarbeit verhindert werden könnten. Auch die Geschwindigkeitsdifferenzen beider Wagen sollen durch das elastische Zwischenglied eine möglichst sanfte Ausgleichung erfahren. Der Betriebstechniker weiss indess sehr wohl, dass er mit Präzisionsarbeit im Strassenbahnbetriebe nicht weit kommt. Nur die einfachsten und rohsten Fabrikate sind mit Erfolg gekrönt, und darum wird man bestrebt sein müssen, derartige Ausgleichungen mangelnder Präzision in elastischen Zwischengliedern zu suchen. Die praktische Erfahrung mit der genannten Kupplung hat die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.

In den Hohlkörper A mündet durch Führung B das Verbindungsteil C, welches am Ende mit Kolben D und Spiralfeder E versehen ist. Beim Anziehen des Motorwagens wird die Spiralfeder E gespannt und dadurch der Anhängewagen allmählich und stossfrei in Bewegung gesetzt. Bei plötzlichem Anhalten des Motorwagens wird im Raum F hinter dem Kolben D Luft komprimiert und dadurch der Anhängewagen in seiner Vorwärtsbewegung allmählich aufgehalten.

Die Löcher G verhindern die Bildung eines Luftvakuums beim Zusammenpressen der Spiralfeder und sind bei der Nulllage des Kolbens angeordnet.

Diese Kuppelungsstange greift in die beiderseitigen Pufferköpfe ein, in welchen die Kupplungsstifte sitzen.

Die vielseitigen Bestrebungen, welche Erfinder und Konstrukteure für die selbstthätigen Kupplungen an Hauptbahnwagen bis auf den heutigen Tag verfolgt haben, sind bisher noch zu keinem greifbaren Resultat gelangt, weil eine Kompliziertheit der hierbei in Betracht kommenden Ausführungsformen unvermeidlich ist. Im Eisenbahn-Betrieb ist nichts wichtiger, als die grösste Einfachheit.

Die in Fig. 407 dargestellte Konstruktion einer selbstthätigen Kupplungs-Vorrichtung ist für Kleinbahnen (vor allem Strassenbahnen) bestimmt.

Diese Kupplung kennzeichnet sich dadurch, dass an den beim Verkuppeln der Wagen gegenübertretenden Pufferköpfen, welche zugleich die Kupplungsösen enthalten, ein seitlich geführter, leicht be-

weglicher und hubbegrenzter Verbindungsbolzen oder Stift sitzt. Dieser Verbindungsbolzen wird bei aufgehobener Kupplung von einer in das Innere des Pufferkopfes von der Seite hineinragenden Zunge

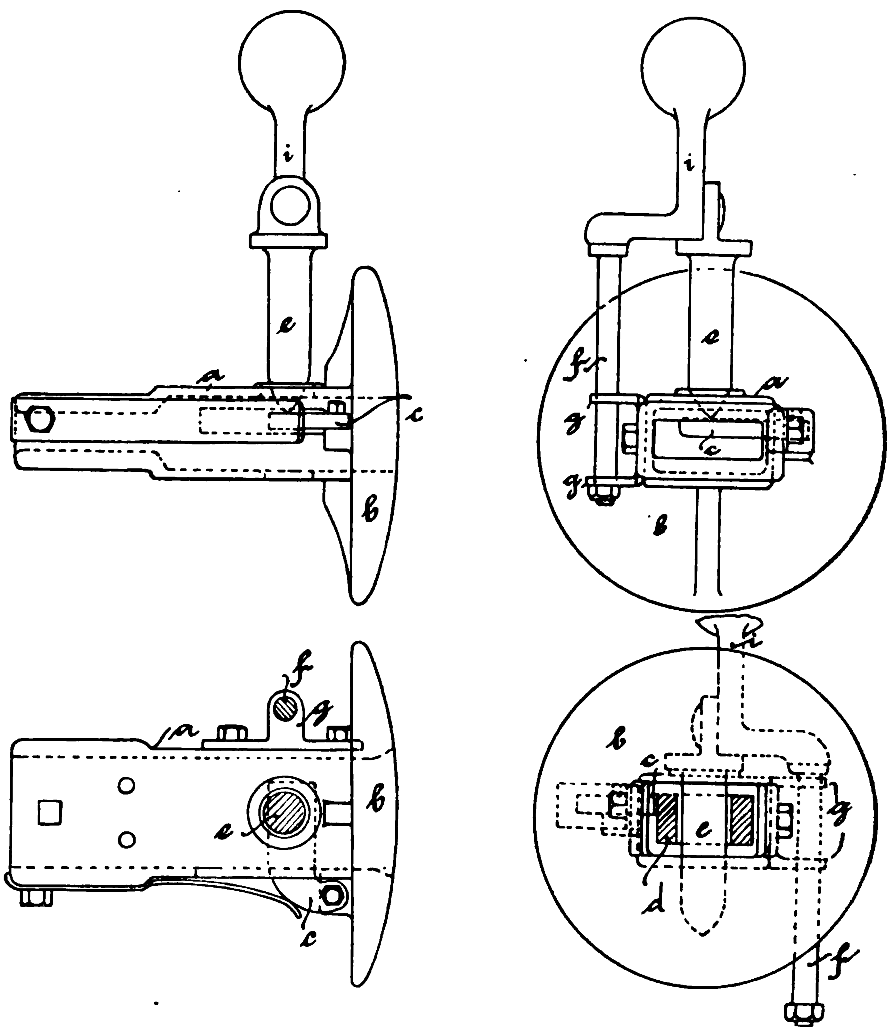


Fig. 407.

in gehobener Stellung gehalten, gegen welche bei vorzunehmender Kupplung das im herankommenden Pufferkopf befindliche Kupplungseisen anstösst. Dieses Anstossen bewirkt ein zur Seite Bewegen der durch Federdruck von der Seite her in den Pufferkopf hinein-

gedrückten Zunge, dergestalt, dass bei der Seitenbewegung der letzteren der Verbindungsstift seine Unterstützungsfläche verliert und in ein am Ende der Verbindungsschiene vorgesehenes Loch selbstthätig einfällt; hierdurch ist die Kupplung zweier Wagen hergestellt.

Sollen letztere wieder voneinander gekuppelt werden, so wird der leichtbewegliche und auch ein wenig um seine Drehachse drehbare Verbindungsbolzen mit der Hand oder durch Kette vom Führerstande aus so weit angehoben, dass der Bolzen aus dem Loche in der Verbindungsschiene heraustritt und hierbei durch den seitlich am Pufferkopf angebrachten parallelen Bolzen Führung erhält. Beim Heraustreten der Schiene aus dem Pufferkopfe durch Wegschieben oder Wegziehen des anderen Wagens tritt durch den seitlichen Federdruck die Zunge sofort wieder an die Stelle des Kupplungseisens, sodass der Verbindungsbolzen seine Unterstützung von Neuem erhält und für eine spätere Verkupplung zweier Wagen bereit steht.

Die vorstehend gekennzeichnete, selbstthätige Kupplungseinrichtung ist links oben in Ansicht, links unten im Grundriss bezw. Horizontalschnitt ersichtlich. Rechts oben ist eine Vorderansicht und rechts unten eine Hinteransicht (von der Pufferscheibe aus gesehen) der Kupplungseinrichtung mit eingefallenem Verbindungsbolzen dargestellt.

a ist der Pufferkopf mit der Pufferscheibe b; in diesen Pufferkopf ragt von der Seite eine unter Federdruck stehende Zunge c hinein, welche bei Nichtverkupplung zweier Wagen in der Bahn des bei vorzunehmender Kupplung in den Pufferkopf eintretenden Kupplungseisens d steht.

Auf der in den Pufferkopf a hineinragenden Zunge c ruht der Verbindungsbolzen e auf, welcher mittels seitlichen Bolzens f in dem Anschlagwinkel g Führung erhält und mit einem durch Kugel beschwerten Handgriff i zu einem Ganzen vereinigt ist. Das untere Ende des Führungsbolzens f kann mit einer Mutter besetzt sein, um ein allzu weites Anheben des Verbindungsbolzens e zu verhüten, wenn die Kupplung aufgehoben werden soll.

Das Charakteristische liegt also in der Führung des Kupplungsstiftes und in der Sperrung desselben im ungekuppelten Zustande, wobei diese Sperrung durch eine einfache federnde Zunge jederzeit aufrecht erhalten wird.

Beim Einführen des Kupplungseisens in die Pufferkopföffnung muss man nur beachten, dass die Öffnung gut getroffen wird, während man der Sorge um das Einfallen des Kupplungsstiftes enthoben ist.

Die Einrichtung ist an den Wagen der Dresdner Strassenbahn in praktischer Bewährung und konnte ohne Schwierigkeiten in die vorhandenen Pufferköpfe eingebaut werden.

Wird der Pufferkopf von vornherein neu gemacht, so lassen sich die für die Führung des Kupplungsstiftes nötigen seitlichen Ansätze sowie der Zungen-Schlitz und die Gelenkaugen der Zunge auf einfachste Weise in einem Gussstück vereinigen, sodass die Kosten der selbstthätigen Kupplung äusserst gering ausfallen.

k) Schienenreiniger.

Das Bestreben, die Schienen einer Strassenbahn schnell und gründlich zu reinigen, hat viele Konstruktionen gezeitigt. Dieselben scheiterten jedoch beim Pferdebetrieb daran, dass keine Kraft- bezw. Arbeitsleistung zur Bewegung der mechanischen Reinigungswerkzeuge verfügbar war, weil das Pferd schon beim normalen Betriebe

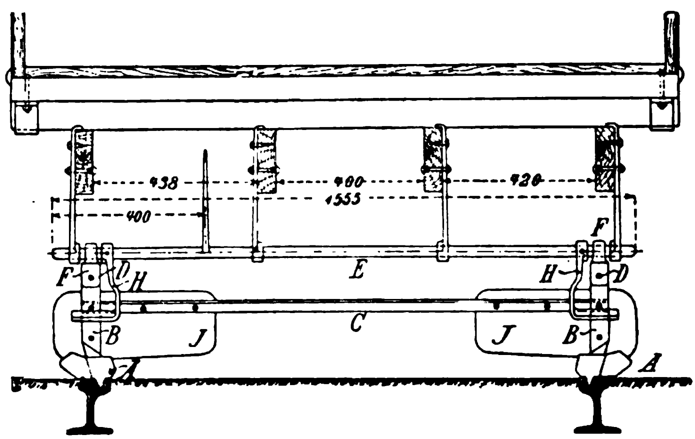


Fig. 408.

mit voller Leistung arbeitete. Bei motorischem Betriebe fällt dieser Mangel fort.

Aus dem Bestreben, Bahnwärter zu sparen und bei Schneefällen das Salzstreuen möglichst einzuschränken, ist ein mechanischer Schienenreiniger entstanden, dessen Anordnung im Quer- und Längsschnitt eines Wagens in Fig. 408 und 409 dargestellt ist.

Derselbe besteht im wesentlichen aus pflugscharähnlichen Räumern oder Kratzern A aus Stahlblech, die der oberen Begrenzung des Schienenquerschnittes angepasst und an den durch das Winkeleisen C miteinander verbundenen Flacheisen B befestigt sind. Letztere sind leicht drehbar um die Bolzen D, die in den um die Achse E drehbaren Armen F befestigt sind. Die Kratzer sind daher nach jeder Richtung leicht beweglich, folgen willig den Bahnkrümmungen und gehen auch gut durch die Weichen. Sie werden mittels der vom

Führerstande aus durch die Zugstange G bewegten Hebel H aus- und eingerückt. Um das aus den Schienenrillen an den Kratzern hochsteigende Schmutzwasser aufzufangen und abzuleiten, sind die Schutzbleche J vorhanden. K sind Belastungsgewichte.

Die Schienenkratzer haben sich so gut bewährt, dass auf den elektrisch betriebenen Linien die Bahnwärter (Schienenreiniger) bis auf die wenigen Leute abgeschafft werden konnten, die die

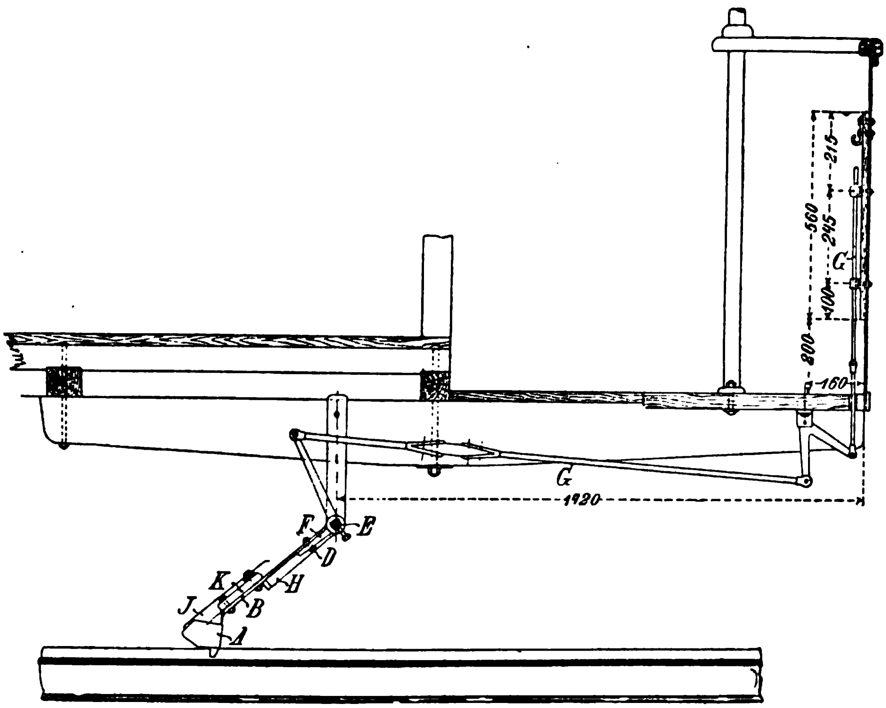


Fig. 409.

Reinigung und Beaufsichtigung der Weichen zu besorgen haben. Bei leichten Schneefällen war es möglich, die Schienen ohne Zuhilfenahme von Salz rein zu halten. In Hamburg ist dieser Apparat am Betriebswagen befestigt, in Berlin hat man ihn an einem besonderen Revisionswagen vorgesehen.

Es ist nicht zu bezweifeln, dass die Rillen von leicht aufliegendem Schmutz und geringem Schnee durch diesen Apparat befreit werden, wodurch das lästige Salzstreuen zunächst überflüssig wird. Jedoch ist hiermit noch nicht alles das erreicht, was zur Verhinderung einer Verkehrsstockung bei grossen Schneefällen u. s. w.

notwendig ist. Gerade hierfür reicht menschliche Kraft nicht mehr aus, sodass der Motor helfend eingreifen sollte. Von Motoren bewegte Schneepflüge sind daher ebenfalls üblich geworden; sie schaffen den Schnee wohl von dem Gleis fort, jedoch auf Kosten der übrigen Strassenoberfläche. Die Schnee- und Schmutzmassen werden seitlich der Fahrbahn zu langen Haufen zusammengetragen und vom übrigen Fuhrwerksverkehr wieder zerfahren und auf das Gleis gebracht. Es muss sonach das Bestreben darauf gerichtet sein, die Schnee- u. s. w. Massen sofort aufzuladen und so fortzuschaffen, dass sie nicht mehr störend wirken. Diese gründliche Beseitigung erfordert allerdings mehrere Wagen, die dem Schneepflug angehängt werden müssen.

l) Schneefegemaschine.

Diese Maschine besteht in der Hauptsache aus einem schweren elektrisch bewegten Wagen, auf welchem zwei durch besondere elektrische Motoren getriebene Systeme von rotierenden Bürsten montiert sind.

Da die Entfernung des Schnees nicht wie bei den gewöhnlichen Schneepflügen durch Beiseiteschieben, sondern durch Fegen erfolgt, so gelingt es mit dieser Maschine, auch nach dem stärksten Schneefall in kurzer Zeit freie Bahn für die Strassenbahnwagen zu schaffen.

Durch eiserne Schaber, welche der Form der Schienen angepasst sind, werden dann noch ausserdem die letzteren von den fester anhaftenden Eisstücken gereinigt.

Die rotierenden Bürsten können soweit angehoben werden, dass noch eine dünne Schneeschicht für den Schlittenverkehr liegen bleibt.

Es ist üblich, die Elektromotoren der Schneekehrmaschine im Sommer herauszunehmen und zum Betrieb von gewöhnlichen Motorwagen zu verwenden.

Ein elektrischer Schneepflug, bei welchem der Schnee nicht wie üblich durch ein Streichbrett zur Seite geschaufelt, sondern durch ein Gebläse nach allen Richtungen hin zerstäubt wird, ist der von Elliot für die elektrische Strassenbahn in Atlanta konstruierte. Der Pflug hat ausser seinem zur Fortbewegung dienenden Motor noch einen Motor von 30 PS, der ein Centrifugalgebläse direkt antreibt. Der Wind wird durch breite, verstellbar angeordnete Düsen auf den Schnee vor dem Wagen gerichtet.

Einen Schneekehrwagen amerikanischer Ausführung stellt Fig. 410 dar. Dieser wird von einem sehr kräftigen Motor fortbewegt. Die Stachelbürsten werden von dem gleichen Motor in

Rotation versetzt und schleudern bei schneller Drehung der Bürsten den Schnee weit fort. Der von den Walzen nicht erreichte Schnee wird von dem Seitenkratzer fortgeschoben.

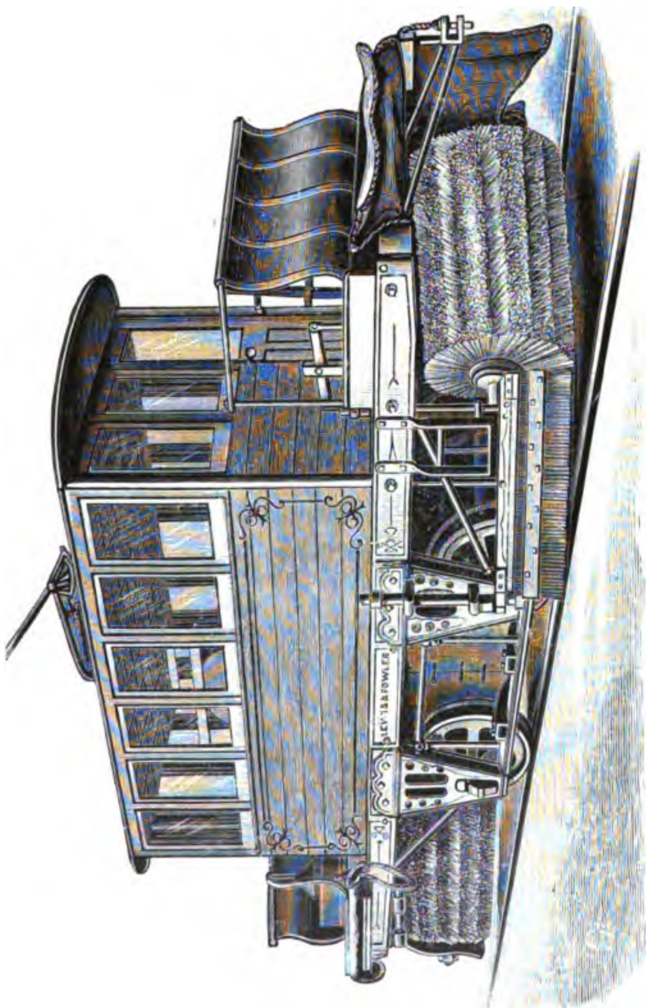


Fig. 410.

Für die Fortbewegung des Schneepfluges und für die Bewegung der Kehrwalzen soll man nicht denselben Motor verwenden, da je nach der Dicke der Schneeschicht die Wagengeschwindigkeit unabhängig von der Kehrgeschwindigkeit sein muss.

m) Sprengwagen.

Zur Besprengung der von der Bahn befahrenen Strassen wird gewöhnlich ein besonderer Sprengwagen von einem Betriebswagen gezogen oder gestossen. In Amerika hat man jedoch auch den Sprengwagen selbst mit Motor versehen und das Äussere einem Wagen für Fahrgäste gleich gemacht. Ein solcher Sprengwagen ist von den Kensington Engine Works, Philadelphia, Pa., für die Benutzung auf elektrischen Strassenbahnen gebaut worden, welcher 13,6 *cbm* fasst; mit dieser Wassermenge sollen 5 *km* Strassenlänge besprengt werden können. Der Wasserkasten des Wagens ist aus Eisenblech hergestellt und durch Querwände in sechs Abteilungen

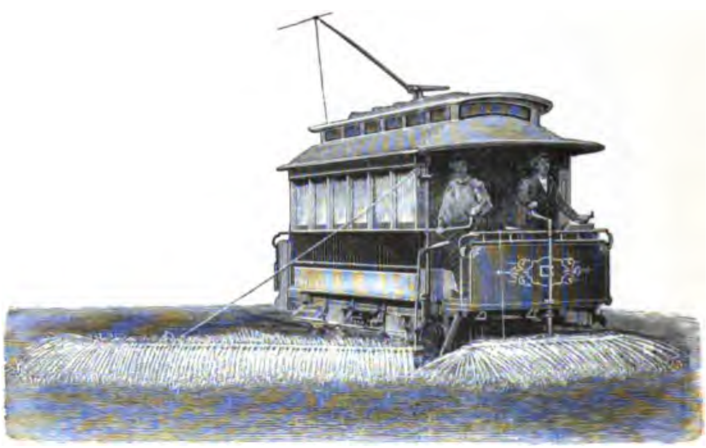


Fig. 411.

geteilt, welche untereinander in Verbindung stehen; diese Anordnung hat den Zweck, die heftige Bewegung des Wassers beim plötzlichen Anhalten des Wagens zu verhindern. Mannlöcher zum Einsteigen in die Abteile sind in der Decke angebracht, ebenso an beiden Seiten Stutzen für das Einfüllen aus Hydranten. Vorn und hinten hat der Wagen Plattformen, von denen aus Leitersteige nach der Decke führen. Die Sprengröhren liegen am vorderen und hinteren Ende des Wagens; ausserdem trägt derselbe aber auch zwei umlegbare Ausliegerröhren von je 6 *m* Länge, welche eine breitere Besprengung der Strasse auf insgesamt 15 *m* gestatten. Im Notfalle können diese Arme in 10 Sekunden an die Seite des Wagens umgelegt werden, wenn die Strasse plötzlich frei gemacht werden muss. Die Union Traction Co. in Philadelphia hat ihre sämtlichen Linien mit diesen in Fig. 411 dargestellten Wagen ausgerüstet.

Zweckmässig benutzt man die Schneefegemaschine mit einigen Änderungen im Sommer als Sprengwagen.

Der Betrieb mit Motorwagen auf staubigen Chausseen bringt durch die Staubaufwirbelung der rasch fahrenden Wagen eine so grosse Belästigung für die Fahrgäste, Strassenpassanten und Anwohner der Bahn mit sich, dass man auf eine intensive und regelmässige Besprengung dieser Strassen unbedingt Bedacht nehmen muss. Die grossen Belästigungen durch den Staub gaben Anlass zu Beschwerden und desshalb mussten sich die Strassenbahnen dazu entschliessen, die Sprengung der von ihnen befahrenen Strassen vorzunehmen. Die den Strassenbahnen hierdurch erwachsenden Kosten werden reichlich aufgewogen durch Ersparnisse in der Wagenreinigung, im Stromverbrauch infolge besseren Kontaktes zwischen Rad und Schiene und in dem geringeren Verschleiss von Zahnrädern, Lagerschalen u. s. w., die sonst durch den aufwirbelnden Staub stark mitgenommen werden.

n) Montage-, Revisions- und Prüfwagen.

Für den Bau und die Unterhaltung oberirdischer Stromzuführungsanlagen benutzt man fahrbare Gerüste, die je nach den obwaltenden Verhältnissen abweichende Konstruktionen aufweisen.

Einen allen Bedürfnissen anzupassenden Montage- und Revisionswagen zu konstruieren, bedarf sehr eingehender Studien aller dabei in Betracht kommenden Verhältnisse. Einesteils muss der Wagen leicht sein, um bei Bauarbeiten, bei welchen der Wagen nur sprungweise von den Arbeitern selbst fortbewegt werden soll, leicht transportierbar zu sein, anderseits muss er geeignet sein, bei Revisionsarbeiten, wo der Wagen fast ständig in Bewegung bleibt, durch ein Pferd fortbewegt werden zu können. Bei der bedeutenden Höhe des Gerüstes muss dasselbe steif sein und darf nicht allzusehr federn. Diese aufziehbare Plattform muss einen vollkommen sicheren Stand bieten, darf also nicht schwanken; was durch eine breite Spur (bei normalspurigen Bahnen diese Spur) und durch geeignete Federung erreicht wird. Montagewagen ohne Federung zu bauen ist aus Festigkeitsgründen für das Gestell unzulässig, dagegen kann man Einrichtungen treffen, um bei längerem Stillstand des Wagens die Federn festzustellen. Benutzt man die Montagewagen zur Betriebsunterhaltung und hat man Arbeiten am Fahrdraht während der Betriebszeit vorzunehmen, so muss die Federung stets gewahrt bleiben, da man den Betriebswagen stets ausweichen muss. Die Fortbewegung muss durch Menschen oder durch ein Pferd geschehen können, und muss sich der Wagen auf der Stelle wenden lassen,

um den entgegenkommenden Betriebswagen im kurzen Bogen mit geringster Zeitversäumnis umfahren zu können.



Fig. 412.

Der Wagen muss auf dem Pflaster bezw. auf der Chaussee ebenso gut verwendbar bleiben, wie auf dem Strassengleise. Will



Fig. 413.

man den Wagen auch auf freiliegender Schiene benutzen, so muss man ihn mit Spurrädern versehen, welche bei der Pflasterfahrt leicht ausgehoben werden können, sodass die Hauptträder gewöhnliche Wagenräder bleiben können. Die Höhe des Gerüstes muss

während der Zeit des Transportes mitunter verringert werden können, was man durch Umklappen des Wagens, wie es Fig. 412 zeigt, oder

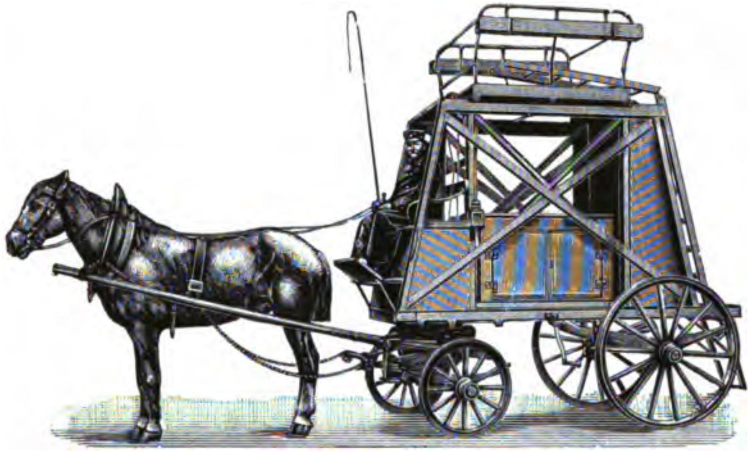


Fig. 414.

durch Einschieben des Wagengerüstes, wie durch die Fig. 413, 414 und 415 dargestellt, erreichen kann. Der zuletzt dargestellte Wagen bietet noch den besonderen Vorteil, dass man die verbleibende Höhe des eingeschobenen Gerüstes ausnützt, um Kleiderschränke, Werkzeugkisten, Materialien und dergl. unterzubringen. Das feste Untergestell dieses Wagens gewährleistet eine Steifheit des Turmbaues, wie er bei dem Wagen in Fig. 412 wohl vermisst werden muss. Fig. 413 zeigt einen Montagewagen, welcher benutzt werden soll, um während des Betriebes elektrischer Bahnen Revisionen vornehmen zu können, und ist zu diesem Zwecke mit einer ausladenden Plattform versehen, welche die halbe Dachbreite des Wagens überdeckt und



Fig. 415.

dem Rollenkontakt ein bequemes Abrollen am Fahrdraht ermöglicht. Bei Bügelkontakt ist dieser Wagen von keinem besonderen Vorteil, weil die Bügelbreite verhindert, nahe an den Fahrdraht heranzukommen.

Die Ausführung solcher Wagen ist stets so zu treffen, dass ein Stromübergang zwischen Fahrdraht und Fahrschiene nicht erfolgen kann. Es empfiehlt sich daher, das Holz zu firnissen und alsdann mit Ölfarbe gut zu streichen und schliesslich zu lackieren, um auch bei nasser Witterung durch das Holz geringsten Stromübergang zu erreichen. Eine Oberflächenleitung vermeidet man durch Tropfkanten rings um die Plattform herum. Eine kräftige Bremse muss vorgesehen werden, damit die Arbeiter auf dem Wagen gesichert stehen und der Wagen im Gefälle beherrscht werden kann.

Die Strassenbahngesellschaft in Chicago benutzt für die Beobachtung des Zustandes ihrer Gleise und Gleisunterlagen einen, von M. K. Bowen entworfenen Gleis-Indikator-Wagen, welcher auf Seite 112 näher beschrieben ist.

o) Wagenbeleuchtung.

Die bisher übliche Beleuchtung der Strassenbahnwagen erfolgte mit Petroleum. Diese Beleuchtungsart hat naturgemäss ihre Übelstände in der Unsauberkeit und Unzuverlässigkeit, wenn die Wartung nicht die allersorgfältigste ist. Beim elektrischen Betriebe wendet man durchgehends Glühlampenbeleuchtung an. Diese Lampen dürfen nur mit Bajonettfassung versehen werden, damit ein Lockern infolge der Wagenerschütterungen ausgeschlossen ist. Die Anzahl der Lampen richtet sich nach der Betriebsspannung der Bahn. Bei 500 Volt werden fünf Lampen von 16—25 Normalkerzen hintereinander geschaltet und durch einen Nebenschlussstromkreis zum Wagenmotor gespeist.

Da durch irgend welche Unfälle auf der Strecke der Betriebsstrom versagen kann, ist es üblich geworden, noch irgend eine Notbeleuchtung, wie Stearinkerzenlicht, Petroleumlampen, oder Akkumulatorenlämpchen vorzusehen. Bei Wagen mit Rollenkontakten wird diese Nebenbeleuchtung ständig im Gebrauch mitgeführt, damit bei Rollenentgleisungen nicht der ganze Wagen dunkel wird. Bei Bügelkontakten, wo Entgleisungen vermieden sind, genügt es, nur im oben beschriebenen Notfalle die Nebenbeleuchtung in Funktion zu setzen.

Brennt bei einer Lampe der Kohlenfaden durch oder wird die Glasbirne zerschlagen, so treten gleichzeitig die übrigen vier Lampen ausser Thätigkeit. Um dieses zu verhindern, bringt man die Glüh-

lampe in Verbindung mit einem selbstthätigen Ausschalter, welcher beim Erlöschen der Glühlampe den anderen vier Lampen Stromdurchgang ermöglicht.

Ein derartiger Aus- und Umschalter soll in folgendem kurz beschrieben werden:

Die Klemmen jeder der hintereinander geschalteten Glühlampen sind mit einem besonderen Nebenschluss verbunden, welcher die Bewickelung eines Elektromagneten bildet, der infolge seiner Widerstandsspule nur von einem sehr kleinen Teile des Lichtstromes erregt wird und daher nur eine sehr geringe, auf seinen durch eine Feder vom Pol abgehaltenen Anker, unwirksame Anziehungskraft ausübt. Sobald die Lampe erlischt, geht der ganze Strom durch diese Magnetspule, zieht den Anker kräftig an, welcher entweder die Klemmen der verlöschten Lampe kurzschliesst und dadurch für die anderen Lampen den Stromkreis nicht unterbricht, oder eine Reservelampe oder einen gleichwertigen Widerstand in den Lampenstromkreis schaltet. In der Fig. 416 ist das Schema für die brennende Lampe dargestellt und in Fig. 417 das gleiche für die kurz geschlossene. In beiden Figuren bedeutet A den Hebel, welcher die Umschaltung für die Reservelampe oder den Widerstand bewirkt.

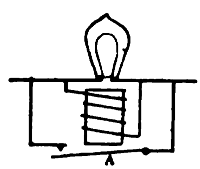


Fig. 416.

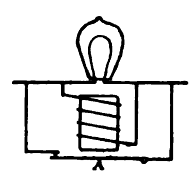


Fig. 417.

Für die äussere Signalbeleuchtung hat die Deutsche Strassenbahn-Gesellschaft in Dresden folgende Einrichtung getroffen: Auf dem Wagendache befindet sich eine grosse bunte Glaskugel, in der eine Glühlampe angeordnet ist. Bei Tage ersetzt die bunte Kugel jedes bunte Routenschild, des Abends ist die Kugel durch die Glühlampe in ihrer Farbe ebenfalls weit sichtbar gemacht. Da bei der üblichen Betriebsspannung von 500 Volt bei einem Stromkreis nur fünf Lampen zur Verfügung stehen, so dienen die drei anderen Lampen zur Beleuchtung des Wageninnern und der Perrons.

Der Vorderperron soll unbeleuchtet sein, damit der Wagenführer aus dem Dunklen ins Helle sieht. Die Blendlaterne ist daher auch stets so anzubringen, dass sie niemals Strahlen nach dem Führerstand wirft.

p) Signalglocken.

Von den am meisten verbreiteten Konstruktionen für Signalglocken sind die Fussglocken, die Glocken an der Perronvorderwand und die Kurbel-Glocken zu erwähnen. Die mit dem Fuss bewegten Läutewerke befinden sich entweder unterhalb des Perrons, oder an

dem Perronblech, und sind dort dem Schmutz und Staub besonders ausgesetzt. Befindet sich die Glocke an der Perron-Vorderwand, so kann sie bei Zusammenstössen leicht verletzt werden. Grundsatz für die Anbringung einer wirksamen Glocke muss der sein, dass die Schallwellen ungehindert ohne Reflexion nach vorn fallen können. Die bei Pferdebahnen üblich gewesenen Riemenglocken fanden auf den motorisch betriebenen Bahnwagen deshalb keine Anerkennung, weil sie den Wagenführer mit einem neuen Handgriff belasten. Beim Pferdebetrieb kann der Kutscher wohl Zügel und Peitsche in einer Hand halten, um mit der anderen Hand entweder Bremse oder Glocke zu bedienen. Geschwindigkeit und abzubremsende Massen sind hier gering. Beim Motorbetrieb jedoch sind beide Hände des Führers für die Bethätigung der Bremse und des Schalters ständig

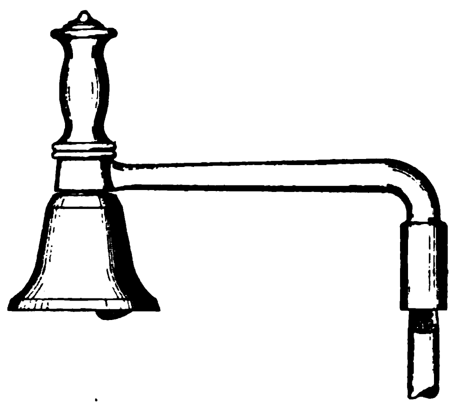


Fig. 418.

in Gebrauch. Es ist also hier wünschenswert, eine Glocke zu haben, die keinen besonderen Griff nötig macht. Die Riedel'sche Kurbelgriff-Glocke befriedigte zuerst dieses Bedürfnis. Hier befindet sich die Glocke oberhalb des Handkurbelgriffes. Der Klöppel wird durch eine senkrechte Hülse bewegt, welche lose über den Spindelgriff geschoben ist. Die Hand des Führers befindet sich unterhalb des Glockenrandes. Bei Regenwetter tropft das Wasser dem Führer auf die Hand und läuft in den Ärmel. Auch bedingt diese Anordnung eine hohe Lage der Glocke. Bei plötzlichem, unbeabsichtigtem Lösen der angezogenen Bremse kann das Gewicht der Glocke den Führer an Brust und Kopf verletzen. Diese Schwächen der Handkurbelglocke sind bei der Sicker'schen Signalglocke, die durch die Fig. 418 und 419 dargestellt ist, vermieden worden.

Die Signalglocke Fig. 418 hat die Glocke unter dem Handgriff. Der Holzgriff ist vertikal auf der Griffspindel verschiebbar und

bewegt den Klöppel mittels eines im Glockengehäuse befindlichen Gelenkes. Die Bethätigung der Glocke erfolgt durch Auf- und Abwärtsbewegen des Handgriffes. Die Glocke wird mit samt dem Bremshebel, der auf dem Vierkant der Bremsspindel sitzt, abgehoben. Sie eignet sich besonders da, wo die tiefe Lage der Glocke nicht hinderlich ist.

Die Signalglocke Fig. 419 besitzt einen Doppelhebel. Die Glockenachse fällt mit der Bremsspindelachse zusammen. Diese Glocke wird nicht im Kreise herumgeführt und kann daher mit Vorteil angewendet werden, wo sich die Kurbel des elektrischen Schalters an der Perron-Vorderwand befindet.

Der ganze Hebel ist in Bronze ausgeführt und besitzt in der rechts gezeichneten Hälfte eine unten befindliche Nut, durch die ein

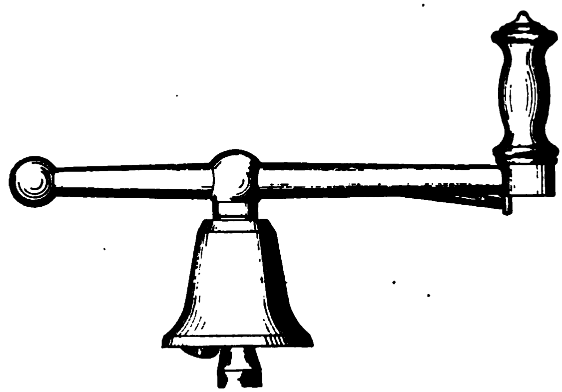


Fig. 419.

zweiarmiger Klöppelhebel geführt ist. Jede Vertikalbewegung des lose aufgestellten Bremsgriffes entspricht einem Glockenanschlagen, jede kreisförmig horizontal geführte Bewegung bringt die Bremse zur Wirkung. Der Doppelhebel kommt besonders bei schweren Wagen zur Geltung, da nach dem Ausschalten des Perronschalters der Führer beide Hände zur kräftigen Bremswirkung frei hat.

Im praktischen Betriebe hat sich die Sicker'sche Signalglocke seit einigen Jahren bei der Dresdener Strassenbahn, bei der Hannoverschen Strassenbahn, bei der Bielitz-Biala'schen Strassenbahn, bei der Hirschberger Thalbahn u. dergl. gut bewährt. Dieselben werden in der Fabrik Akt.-Gesellschaft vorm. H. Meinecke, Breslau, hergestellt.

Für die Verständigung zwischen Wagenführer und Wagenschaffner bedient man sich mechanischer Zugglocken, oder mittels galvanischer Batterien (Trockenelemente) bewegter Rasselwecker. Kontaktknöpfe

und Klingelapparate müssen sehr solid konstruiert und gegen Feuchtigkeit gut geschützt sein.

Ein von Siemens & Halske A.-G. fabrizierter wasser- und luftdichter Alarmwecker entspricht den Bedürfnissen auf Strassenbahnwagen am besten.

Wenn man in Rücksicht zieht, dass dieses Läutewerk der schädlichen Einwirkung des Staubes und feuchter Witterung ausgesetzt ist, so wird man es als eine unerlässliche Forderung erkennen, dass diese Wecker, deren Versagen leicht zu grossen Störungen Anlass geben kann, gegen diese Einwirkungen wasser-, staub- und luftdicht geschützt sein müssen.



Fig. 420.

Bei diesem Wecker wird dieser Abschluss durch eine Metall-Membran erzielt, welche gleichsam einen Teil des das Werk umschliessenden Gehäuses bildet und mit diesem luftdicht verbunden, gegebenenfalls verlötet ist; diese Membran trägt aussen den Klöppel und innen den Anker, wie dies Fig. 420 erkennen lässt. Das Werk liegt in dem kastenförmigen metallenen Gehäuse, dessen Ränder an der offenen Seite mit einem breiten Flansch versehen sind. Auf diesen kommt die Metall-Membran zu liegen und wird auf demselben durch ihre Fassung, welche durch Schrauben mit dem Flansch verbunden ist, festgehalten und luft- bezw. wasserdicht angepresst. An der inneren Seite der Membran ist der Anker an der äusseren der Stiel des Klöppels befestigt. Die Membran übt, wie man ebenfalls sofort erkennt, auch die bei den meisten anderen Glocken durch Blattfedern auf den Anker und Klöppelstiel bewirkte Federwirkung aus. Für den Anschlag des Klöppels an die Glocke erhält diese einen angegossenen Vorsprung.

Für die Zuführungen der Leitungen in das Innere der Glocke dient eine abgedichtete Buchse, welche verschraubt bezw. ausgegossen werden kann.

Infolge des absolut dichten Abschlusses ist ein Eindringen von Staub und Feuchtigkeit bei ihm unmöglich. Der Wecker kann unter Wasser gesetzt werden, ohne dass seine Teile darunter leiden und ohne dass er betriebsunfähig wird. Da keine nach aussen durchgeführten Triebteile vorhanden sind, so ist ein Rosten oder Festfressen solcher Teile unmöglich. Die inneren Teile des Weckers bleiben stets sauber und rostfrei; es können also mechanische Beschädigungen nicht auftreten.

q) Heizung.

Obgleich im allgemeinen die Ansichten der Fachleute über die Zweckmässigkeit der Heizung von Strassenbahnwagen auseinander gehen, so ist doch in manchen besonderen Fällen, z. B. auf langen Vorstadtlinien, eine Heizung zweifellos sehr angebracht. Auf Strassenbahnen, wo fortwährend Fahrgäste ein- und aussteigen und die Thüren sehr häufig geöffnet werden, dürfte der Nutzen der Heizung etwas fraglicher sein; jedenfalls ist es hier erheblich schwieriger, eine gleichmässige Temperatur im Wagen zu erhalten. Hier genügen 10° C. Lufttemperatur, da eine höhere Temperatur eher schädlich auf die Fahrgäste, die doch in winterlichem Anzuge den Wagen benutzen, sein würde. Die Heizung eines Strassenbahnwagens mit Briquett kostet 4—5 Pfg./Stunde. Die elektrische Heizung wird stets teurer sein, bietet indess hauptsächlich folgende Vorteile:

1. Keine Gaserzeugung, keine unangenehme oder schädliche Ausdünstung;
2. geringste Brand- und Explosionsgefahr selbst bei Entgleisungen oder Zusammenstössen;
3. leichte Regelung der Wärme;
4. Unabhängigkeit der in einem Wagen angewendeten Heizapparate voneinander;
5. Reinlichkeit;
6. Platzersparnis;
7. sofortige Inbetriebsetzung.

Als Nachteil ist der hohe Betriebskostenpunkt zu nennen, sodass man bisher die Vorzüge der elektrischen Heizung in Europa noch wenig ausgenutzt hat. Wenn die Heizung als Nebenprodukt gewonnen werden kann, wie bei der Wärmeausnutzung der Vorschaltwiderstände, so ist man zu dieser Heizung mit gutem Erfolge übergegangen. Man hat alsdann die Widerstände unter den Sitzbänken so angeordnet, dass sie im Sommer von der Aussenluft bestrichen werden und die Wärme nach aussen abführen, im Winter dagegen die Innenluft des Wagens erwärmen.

Die Elektrizität ist ganz besonders für die Wagenheizung geeignet, da die elektrische Energie bei der Umsetzung in Wärme voll und ganz ausgenützt wird und die elektrischen Heizapparate jederzeit dem Bedürfnis entsprechend mit grösster Leichtigkeit reguliert werden können; ausserdem sind sie dauerhafter im Betrieb und billiger in der Anschaffung als gewöhnliche Öfen.

Die elektrische Heizung der Wagen kann durch die Anlasswiderstände der Motoren bezw. durch die Vorschaltwiderstände der Anker erfolgen. Für dauernde Heizung empfiehlt sich die Einschaltung von besonderen Heizspiralen, die ständig vom Strom durchflossen sind.

Der grösste und angenehmste Heizeffekt wird durch eine Warmwasserheizung erreicht, deren Heizröhren zu einem Wagenlaufrost ausgebildet sind, und deren Wasser durch den elektrischen Strom erwärmt wird. Die Wärme bleibt dadurch sehr konstant und trifft stets den Fahrgast von unten. Bildet man einen Teil der Wasserröhre als Spirale aus, so kann dieselbe als sekundäre Spule eines vom Betriebsstrom gespeisten Transformators dienen. Die elektrische Energie wird dann als Wärme auf induktivem Wege auf das Wasser übertragen, sodass also das Wasserheizrohr ausser leitender Verbindung mit dem Betriebsstrom bleibt.

Elektrische Wagenheizung durch Drahtspiralen hat die Aktiengesellschaft Elektrizitäts-Werke (vorm. O. L. Kummer & Co.) bei der von ihr gebauten und betriebenen Märkischen Strassenbahn angewandt. Hier besitzen die sämtlichen Motorwagen je eine Heizvorrichtung, welche sich in der Vorderwand der Wagenbänke in etwa 20 *cm* Höhe vom Fussboden befindet. Die durch die ganze Länge des Wagens sich erstreckenden Heizspiralen erzielen eine recht angenehme Temperatur bei einem Stromverbrauch von 4 Amp., was einem Energieverbrauch von rund zwei Kilowatt entspricht.

Unter der Annahme, dass während 120 Tagen im Jahre die Heizung im Betrieb ist und dass die Kilowattstunde bei Selbsterzeugung 5 Pf. kostet, ergeben sich die Betriebskosten der Heizung bei der dort vorhandenen 16 stündigen täglichen Betriebszeit zu $120 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 16 = 192$ Mark, also täglich etwa 1,60 Mark oder 10 Pfg. für die Stunde und Wagen.

Der in sämtlichen Wagen eingeschaltete Heizstrom belastet selbstverständlich die Leitungen und Maschinen mehr, indessen erfolgt dies mit einem konstanten Faktor, der keinen Schwankungen unterworfen ist, wodurch demnach eine gewisse Beruhigung für die Stromerzeuger und das Leitungsnetz in elektrischer Beziehung eintritt. Die prozentualen Schwankungen des Betriebsstromes werden geringer und die durchschnittliche Belastungskurve nicht ungünstig beeinflusst.

Die von der H. W. John's Manufacturing Company fabrizierten elektrischen Heizkörper bestehen aus mit Asbest umwickelten Widerstandsdrähten, die wiederum mit einem Asbestgewebe bedeckt sind. Der so gebildete Heizkörper ist in einen Asbestkasten gelagert. Kasten und Heizkörper sind zusammen mit einer isolierenden Masse durch und durch gesättigt, welche ein Ansaugen von Feuchtigkeit in den Asbestfasern völlig verhindert. Hierdurch entsteht ein Heizapparat, welcher der Erwärmung des Drahtes die grösstmögliche Ausstrahlung darbietet, und der durch eine harte dichte Hülle vor der Berührung mit Luft und sonstigen schädlichen atmosphärischen Einflüssen gesichert ist.

Diese Heizapparate eignen sich zur Anbringung in dem Inneren der Wagenwände oder unter den Wagensitzen. Durchlochte Stahlblechumhüllungen von 1,25 *m* Länge, 12 *cm* Höhe und 5 *cm* Breite umschliessen den Heizapparat. Sechs solche Heizkörper verbrauchen 6—9 Amp., je nach dem Aufstellungsort. Zur Ausrüstung eines Wagens von 6 *m* Länge werden 6 Heizkörper benutzt, 8 oder mehr mit entsprechender Stromzunahme für Wagen von 7 *m* Länge und darüber.



Fig. 421.

Die Regulierung erfolgt mittels dreier Stufen; die erste Stellung des Hebels giebt einen Verbrauch von ungefähr 3 Amp. an, in der zweiten Lage ungefähr 6 Amp. und in der dritten 9 Amp.

Um die Wärme gleichmässig in dem ganzen Wagen zu verteilen, sodass diejenigen Fahrgäste, welche direkt über oder in unmittelbarer Nähe der Heizkörper sitzen, nicht übermässige Wärme erhalten, empfiehlt H. W. John's Manufacturing Company soviel Heizkörper zu verwenden, wie bequem in dem Wagen angebracht werden können.

Die von der Globe Electric Heating Company fabrizierten elektrischen Heizapparate bestehen aus Heizrollen, wie Fig. 421 zeigt. Beim Winden dieser Rollen wird das eine Ende des Drahtes mit dem Kern verbunden, während das andere Ende davon isoliert bleibt. Beide Verbindungen befinden sich in einem Halter. Dieser Halter ist eine aufgeschnittene Metallröhre, welche die Ausdehnung und Zusammenziehung gestattet. Jede Rolle ist mit zwei metallischen Reflektoren versehen, welche einander gegenüberstehen. Bei dieser Einrichtung ist die Wirkung der Heizrollen um 45 % grösser als die

gewöhnliche spiralige Widerstandsrolle, welche nur direkte Ausstrahlung hat. Die Rollen für diese Wagenheizkörper sind für 50 Volt gewickelt und in Reihen von zehn Stück geschaltet. Jeder Heizapparat verbraucht daher 1 Amp. bei 500 Volt. Für andere Spannungen ist es nur nötig, dieselben in entsprechender Hintereinander- und Parallelschaltung aufzustellen, also für 110 Volt zwei Rollen hintereinander und zwei Rollen parallel, für 200 Volt vier Rollen in Reihen und die Reihen einander parallel. Bei dieser Anordnung

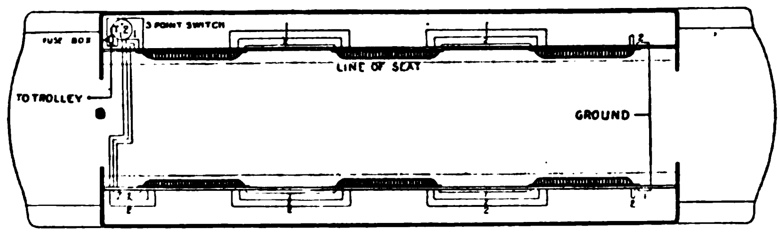


Fig. 422.

können diese Heizkörper in wenigen Minuten zum Gebrauch für jede Spannung umgewechselt werden.

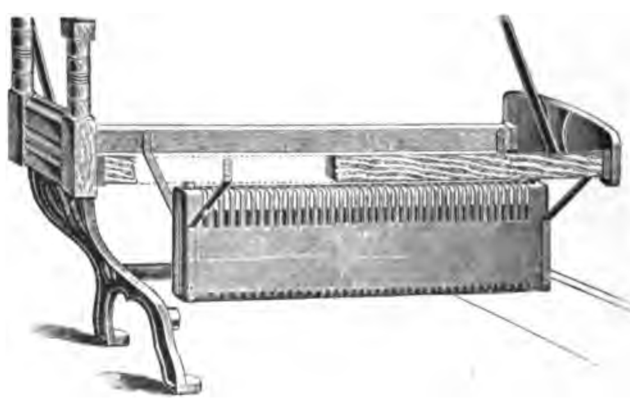


Fig. 423.

Ein sehr wesentlicher Punkt ist die Konstruktion der Gehäuse, um die besten Heiz-Resultate bei einem gegebenen Energieaufwand zu liefern. Die kalte Luft, welche an dem Boden durch eine bestimmte Öffnung zugeführt wird, soll durch und um die Rollen geführt und mit einem eisernen Reflektor in Berührung gebracht werden, welcher an dem Kopf des Heizkörpers angebracht ist. Alsdann wird dieselbe durch die Öffnung am Kopf, welche grösser ist als die im Boden befindliche, wieder abgeführt. Bei dem von der

National Electrical-Manufacturing Company fabrizierten Apparat erfolgt die Stromschaltung und dadurch die Temperaturregulierung im Wagen durch einen elektrischen Schalter von besonderer Konstruktion. Es befinden sich vier Gradeinteilungen am Zifferblatt: »voll, halb, niedrig und null«. Das Zifferblatt, welches beweglich ist, hat an der Innenseite befestigte Bürsten, welche sich auf einer Kontaktreihe an der festen Scheibe hinbewegen. Da die erzeugte Wärme in direktem Verhältnis zur Strommenge steht, welche durch die Drähte eines jeden Heizkörpers fliesst, und da die Stromstärke durch die zusammengesetzten Widerstände bestimmt wird, ist es nur nötig, die Zahl der Heizkörper zwischen einem Punkt, wo der Strom eintritt und wo er wieder austritt, zu verändern, um die Temperatur auf jeden beliebigen Grad zu regulieren. Fig. 422 zeigt die Anordnung der Heizkörper und die Schaltung derselben. Fig. 423 zeigt noch einen Heizapparat für Quersitzanordnung.

r) Wagenleitungen.

Von der richtigen und sachgemässen Ausführung und Anlegung der Leitungen am Wagen hängt zum grossen Teile der sichere Betrieb eines Wagens ab, denn eine schlecht verlegte Leitung ruft sehr bald durch Kurzschluss oder Unterbrechung Betriebsstörungen hervor.

Die Grundsätze, nach denen das Verlegen geschehen muss, sind folgende.

Die Leitungen müssen vorzüglich gegen Erde und gegeneinander isoliert sein; die beste, also bei der Anschaffung teuerste Isolation wird sich im Betriebe als die billigste herausstellen. Da bei allen Betrieben, mit Ausnahme des reinen Akkumulatorenbetriebes und des seltenen Falles mit zweipoliger Fahrleitung, ein Pol an Erde liegt, so machen sich die Folgen eines Isolationsfehlers sehr bald bemerkbar.

Die Leitungen dürfen sich nicht bewegen, da eine regelmässige, durch die Erschütterungen des Wagens hervorgerufene Bewegung sehr bald ein Durchscheuern der Isolation zur Folge haben würde.

Die Leitungen müssen möglichst übersichtlich angeordnet werden, um das Aufsuchen eines Schaltungs- oder Isolationsfehlers zu erleichtern, dürfen jedoch nur dem Betriebspersonal zugänglich sein. Die Leitungen müssen geschützt liegen, dass Staub, Schmutz, Spritzwasser u. s. w. nicht an die Leitungen gelangen kann; sich kreuzende Leitungen müssen an der Kreuzungsstelle durch Überschieben eines Stückes Gummiisolierrohr noch einmal voneinander isoliert werden. Zusammengehörige Leitungen, so z. B. die

Verbindungsleitungen der beiden Schalter werden in einem starken Gummischlauch mit Hanfeinlage vereinigt und dieser Schlauch wird in einen hölzernen Kanal längs des Wagenbodens verlegt. Bei den Abzweigungen aus diesem Schlauch zu den Motoren und Widerständen müssen die aufgeschnittenen Stellen wieder sorgfältig abgedichtet werden; die ausmündenden Enden sind mit Weichgummirohr zu überziehen.

Die Befestigung einzelner Leitungen am Wagenboden erfolgt durch Holzschellen, vermittels welcher die Leitungen fest angedrückt werden, dass sie sich nicht bewegen können.

Der Anschluss zu den Apparaten, z. B. zu den Schaltern erfolgt durch Kabelschuhe; die Verlötungen derselben mit den Leitungen, sowie jede Lötung überhaupt, muss ohne Zuhilfenahme von säurehaltigen Lötmitteln geschehen, da die Säure bei nicht ganz sorgfältiger Entfernung von der Lötstelle sehr bald die aufgebrachte Isolation zerstören würde.

Wenn die Leitungen nicht in einem Holzkanale geführt werden, so ist der Schutz gegen äussere Einflüsse durch Verdecken derselben mit Segeltuch herzustellen.

Die Hauptstromleitungen werden von dem Fahrkontakt abgezweigt, indem man diese an einen feststehenden Teil desselben anschraubt. Ein direkter Anschluss an den Stromabnehmer selbst, welcher sich auch nur schwierig herstellen liesse, ist nicht nötig, da die hohe Spannung von 500 Volt schon genügende Sicherheit für den Stromübergang über die Gelenke desselben bietet.

Die Leitungen, welche mit bester wetterbeständiger Isolation versehen sein müssen, werden unter dem Laternendach, gewöhnlich auf Rollen, auf kürzestem Wege nach einem der Eckpfosten verlegt, in welchem sie herunter nach den Schaltern und Motoren geführt werden.

Die Lichtleitungen des Wagens bestehen aus 1,5 *qmm* gummiisoliertem Draht und werden direkt auf das Wagendach verlegt. Es ist hier darauf zu achten, dass durch das Betreten des Wagendaches, was sich behufs Auswechseln und Reparatur des Stromabnehmers nötig macht, keine Beschädigung dieser Leitungen erfolgen kann.

Über die weiteren Einzelheiten der Verlegungsart geben die hinten angeführten Verbandvorschriften Aufschluss.

2. Wagenmotoren.

a) Motorachsen, Motorgewichte und Motorgrössen.

Bei elektrischen Bahnen wird sehr oft die Frage aufgeworfen, ob es richtiger ist, zweiachsige Wagen mit einem oder mit zwei

Motoren zu versehen. Die Ausführungen der grossen bahnbauenden Firmen lassen die Frage nicht ohne weiteres als entschieden gelten, darum seien in Nachfolgendem die Gesichtspunkte vorgeführt, welche für die Wahl der Motorenzahl bezw. der angetriebenen Achsen massgebend sind. Zunächst sind die Steigungsverhältnisse bestimmend, alsdann spricht der Nutzeffekt der Motoren mit.

In hügligem Terrain wird es immer notwendig sein, beide Achsen anzutreiben. Dies kann nun mit einem Motor und mit einer Kurbelstangen-Übertragung nach der motorfreien Achse erfolgen oder es können zwei selbständige Motoren Verwendung finden.

Die englische Praxis kennt nur ungekuppelte Achsen und die festländische giebt denselben ebenfalls bei weitem den Vorzug. In den Vereinigten Staaten hat man mit der Kuppelung zweier angetriebener Achsen sehr günstige Ergebnisse erzielt.

Gegen die Kupplung wird mit gutem Grund der Einwand vorgebracht, dass durch sie die Reibung erheblich vermehrt und die Beweglichkeit des Wagens gehindert wird, was zumal für Schienenwege mit vielen Kurven oder mit Kurven von kleinem Radius von wesentlicher Bedeutung ist. Darauf erwidern aber die Anhänger des Kuppelungssystems, dass diese Nachteile gegen die mit der Kuppelung erzielten Vorteile wenig ins Gewicht fallen; denn die gekuppelten Räder zeigen weniger Neigung zum Gleiten und Schleifen.

Auf den ersten Blick wird man vielleicht nicht erkennen, warum vier ungekuppelte Räder weniger Reibung haben sollen als vier gekuppelte, da der Raddruck durch die Kuppelungsstange nicht verändert wird. Allein hier kommen gewisse Eigentümlichkeiten des elektrischen Motors in Frage, welche die obige Schlussfolgerung stören.

Geht bei ungekuppelten Achsen der eine Motor durch und schleifen seine Räder, ohne zu fassen, so wird der andere Motor davon nicht beeinflusst; und umgekehrt hängt das Durchgehen jedes Motors nur von der Reibung seiner beiden Räder ab. Sind aber die Achsen gekuppelt, so wird das Durchgehen des einen Motors auch dasjenige des anderen zur Folge haben.

Setzen wir z. B. voraus, dass im ersteren Falle der Wagen schleudert oder mit seinem einen Räderpaare auf eine fettige Stelle der Schienen kommt, so wird der eine betreffende Motor durchgehen; infolgedessen fällt die gesamte Zugarbeit auf den zweiten Motor, der dieselbe mit zwei Rädern zu leisten hat und darum auch durchzugehen anfängt. Ist nun der Wagen gerade auf einer steilen Steigung, so kann es kommen, dass derselbe sich abwärts bewegt, sobald die Räder auf den Schienen schleifen, trotzdem sich die letzteren für den entgegengesetzten Antrieb drehen.

Sind dagegen die beiden Achsen gekuppelt, so bedeutet der Adhäsionsverlust an dem einen Radpaare nicht eine Entlastung seines Motors, nicht eine Überbelastung des anderen Motors, sondern die Leistung des ersteren Motors wird durch die Kuppelungsstange auf das Radpaar des zweiten Motors übergeführt und beide Motoren arbeiten gemeinschaftlich auf dieses Radpaar, sodass also die Zugwirkung nicht oder doch nur in geringerem Masse vermindert wird.

Es wird sich also als Vorteil der Kuppelung mittels Kurbelstangen die verminderte Schädlichkeit des Gleitens eines Rades und die Vermehrung der Zugwirkung, als Nachteil die grössere Steifheit des Wagens und die stärkere Reibung ergeben. Aber auch gegen diesen Nachteil lassen sich noch Vorkehrungen treffen, indem man die Kuppelstange durch Einschalten einer Spiralfeder selbst elastisch macht.

Diese Feder muss stark genug sein, um die Zugkraft zu übertragen, aber auch elastisch, um Verbiegungen und geringe Zusammendrückungen zuzulassen.

Es ist natürlich, dass zwei kleinere Motoren zusammen schwerer sind, als ein grösserer Motor von gleicher Gesamtleistung und dass der Nutzeffekt kleinerer Motoren geringer ist, als der grösserer, woraus folgt, dass bei spezifisch grösserem Gewicht und geringerem Nutzeffekt zwei kleinere Motoren mehr Strom brauchen werden, als ein grösserer. Bei Bahnanlagen spielt jedoch der grössere Stromverbrauch gegenüber den übrigen Betriebskosten nur eine sehr geringe Rolle und sollte bei Beurteilung einer Bahnanlage nicht allzusehr mitsprechen.

Bedenkt man z. B., dass die Kilowattstunde bei einem durch eigene Kraftstation erzeugten Strom etwa 6 bis 8 Pfennige kostet und setzt man bei Bahnen mit mittlerer Steigung von 30‰ für das zweiachsige Wagenkilometer den aus der Praxis entspringenden Wert von 0,4 Kilowattstunde ein, so kostet der Strom für das Wagenkilometer 2,4 bis 3,2 Pfennige.

Ein unter ungünstigsten Verhältnissen selbst 20% geringerer oder grösserer Verbrauch bei verschieden grossen Motoren bewegt sich in Bruchteilen von Pfennigen.

Angenommen, der Stromverbrauchs-Unterschied beträgt 0,5 Pf., so würde ein Wagen, wenn er im Jahre 50000 *km* fährt, 250 Mark im günstigeren Falle ersparen. Dagegen spielt eine viel grössere Rolle die Verwendbarkeit der Betriebsmittel für jede Zeit- und Ortslage. Die Adhäsionsverhältnisse ändern sich je nach der Art der Bahn ganz wesentlich, sodass z. B. bei schmutzigen Schienen und bei Schneefällen ein nur an einer Achse angetriebener Motorwagen den grössten Schwierigkeiten begegnet. Der Reibungskoëffizient sinkt hierbei

mindestens auf 1/10 herab. Ein einziger Tag, an welchem der Betrieb solcher Verhältnisse wegen ruhen muss, oder auch nur gestört ist, schädigt das Bahnunternehmen viel mehr, als der etwas grössere Stromverbrauch; zudem kommt, dass Beschädigungen des einen Motors bei einem Doppelmotorwagen immer noch gestatten, zum mindesten die vorliegende Strecke abzufahren und den Wagen ohne besondere äussere Hilfe nach der Werkstatt zurückzubringen. Schliesslich bleibt der Fall zu beachten, dass der Betriebswagen einen beschädigten Wagen ins Schlepptau nehmen muss, ohne darum selbst beschädigt zu werden. Ausser den Kosten des Stromverbrauchs kommen allerdings noch die grösseren Unterhaltungskosten bei zwei Motoren in Frage. Jedoch ist der Motorbau heute auf einem Standpunkt angelangt, welcher gestattet, mit den geringsten Reparaturkosten resp. Unterhaltungskosten zu rechnen.

Wenn aus Sparsamkeitsrücksichten und mit Rücksicht auf einen anfänglich schwachen Betrieb zunächst nur ein Motor vorgesehen wird, so muss derselbe eine Zugkraft besitzen, welche das vollbeladene Adhäsionsgewicht der angetriebenen Achse jederzeit vollkommen auszunutzen gestattet, um die vorher genannten Betriebsstörungen in gleichem Masse bewältigen zu können, wie beim Doppelmotorwagen. Es bleibt alsdann vorbehalten, einen zweiten gleich starken Motor bei späterem, stärkeren Betriebe mit Anhängewagen ohne besondere Vorkehrungen einzubauen. Der Schaltapparat (Kontroller genannt) und die Stromabnehmervorrichtung würde allerdings zweckmässig dem später zu erwartenden höheren Stromverbrauch anzupassen sein.

Für die Berechnung der Motorzugkraft muss mit einem Reibungskoëffizienten $^1/_5$ (Sandstreuung) gerechnet werden.

Die Zugkraft am Umfang des Rades beträgt z. B. 850 *kg*. Gemäss dem Nutzeffekt der Übersetzung und dem Verhältnisse zwischen Radachse und Motorachse ist der Motor für die Zugkraft zu berechnen, welche er bei einer Wagen-Geschwindigkeit von 10 *km*/St. während 5 Minuten leisten muss, ohne sich mehr als 40° C. über die Umgebungs-Temperatur zu erwärmen. Durch Erfüllung dieser Bedingung wird eine Überlastung des Motors bei der natürlichsten Sicherung durch die Adhäsionsgrenze zwischen Rad und Schiene stets vermieden und die durch Stromüberlastungen sonst immer herbeigeführten Reparaturen an den Ankern und Magnetwickelungen der Motoren werden sich nur in geringen Grenzen bewegen.

Solche Motoren werden für den normalen Betrieb allerdings nicht den sparsamsten Stromverbrauch aufweisen. Da aber, wie bereits erwähnt, der Stromverbrauch keine so grosse Rolle spielt, vielmehr die Reparaturkosten den Hauptteil der Betriebskosten ausmachen,

sollte nur in der angegebenen Form ein Gewicht auf die Konstruktion der Motoren gelegt werden.

Motoren mit geringerer Zugkraft, bezw. mit geringerer Leistung werden sich bei Überlastungen, wie dieselben beim Bahnbetriebe niemals vermieden werden können, schnell und oft übermässig erwärmen. Die Folgen hiervon sind Isolationsschäden an den Wickelungen u. dergl. Die Kosten einer einzigen Ankerreparatur überwiegen die Mehrstromkosten eines stärkeren und schwereren Motors, sodass die Wahl der Motortypen nicht nach dem theoretischen Nutzeffekte, sondern nach der praktischen Wirtschaftlichkeit ausfallen muss. Hierbei ist selbstverständlich vorausgesetzt, dass der spezifische Nutzeffekt der denkbar beste sein muss, und dass nicht etwa auf Kosten vorstehender Resultate in der Konstruktion und Berechnung des Motors gesündigt werden darf.

Einen Sicherheitskoëffizienten in der Berechnung muss man von vornherein jedem Projekt geben, wenn die späteren Betriebsverhältnisse noch nicht zu übersehen sind.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass der Verkehr mit der Zeit wächst, vor allen Dingen dann, wenn man nicht etwa eine vorhandene Bahnanlage mit bekanntem und vielleicht erschöpftem Verkehr elektrisch umwandelt, sondern wenn die Bahn neue Bedürfnisse wecken und befriedigen soll.

Bei Beurteilung von Motorgrössen und Motorgewichten muss man noch eine andere wichtige Frage in Betracht ziehen, und das ist die der Bremsung während der Thalfahrt gegenüber der Arbeitsleistung während der Bergfahrt.

So lange die Bremsung des Wagens lediglich durch den Motor erfolgt, indem man denselben über Widerstände kurz schliesst, muss man mit hohen Stromstärken, die der Motor als Dynamomaschine erzeugt, rechnen. Die Drahtquerschnitte, die Polflächen, die Eisenquerschnitte und die Abkühlungsflächen bestimmen sich hierdurch.

In dieser Beziehung stellt sich die Bremsung mittels Magnetbremsen wesentlich günstiger, da zu deren Erregung geringere Stromstärken nötig sind, um ihrerseits dieselben Bremswirkungen zu erzielen.

Will man die natürliche Adhäsion des Wagens zur Bremsung ausnutzen, und will man neben der elektrischen Bremsung die Handkurbelbremsen wirksam gestalten, so wird ein Mehrgewicht der zu bremsenden Achsen immer von Vorteil sein, denn es ist bekanntlich nicht schwer, mittels Handbremsen die Räder auf den Schienen zum Schleifen zu bringen. Die beste Bremswirkung wird während der rollenden Reibung zwischen Rad und Schiene erreicht, und nicht bei der gleitenden. Die rollende Reibung lässt sich bei intensiver

Bremsung aber nur durch grosses Adhäsionsgewicht erhalten, und darum ist vom Standpunkt der Bremssicherheit jede Adhäsionsvermehrung selbst durch den Motor erwünscht.

Schliesslich stellt sich noch ein wirtschaftlicher Faktor in der Stromersparnis bei überschüssigem Adhäsionsgewicht beim Anfahren heraus, was durch nachstehend beschriebenen Versuch bewiesen werden soll.

Bei einem diesbezüglichen Vergleichsversuch wurde der eine der beiden Motoren abgeschaltet, sodass der andere Motor bei seiner durchschnittlichen Leistung mit besserem Nutzeffekt arbeiten musste. Das Anfahren jedoch brauchte eine wesentlich grössere Arbeit, weil die Räder mehr oder weniger auf den Schienen schleiften. Die Arbeitsmenge, welche erforderlich ist, ein Rad auf der Schiene zum Rutschen zu bringen, ist so vielmal grösser, als durch eine durchschnittliche Stromersparnis wieder wett gemacht werden kann, sodass es als einzig richtig betrachtet werden muss, ein möglichst grosses Adhäsionsgewicht bezw. die volle Ausnutzung des Wagengewichtes für das Anfahren zur Verfügung zu haben. Der durchschnittliche Stromverbrauch war bei der Fahrt mit einem Motor um etwa 25 % geringer als bei der Fahrt mit zwei Motoren, was lediglich durch das Schleifen der Räder im ersteren Falle begründet wird.

Die verschiedenen Arbeitsleistungen, welche an einen Wagenmotor zu stellen sind, harmonieren ebensowenig mit einem hohen Nutzeffekt des Motors, wie die konstruktive Ausgestaltung desselben. Die Ausnutzung der gesamten Adhäsionslast eines Motorwagens für anzuhängende Beiwagen, die Wiedergewinnung der Arbeit bei der Thalfahrt in Form von elektrischem Strom und die Bremsung des Wagens bis zum Stillstand mittels magnetischer oder elektrischer Bremsen führt zur Anwendung eines solch starken Motors, dass durch den Antrieb desselben die Räder auf den metallisch blanken, trockenen Schienen ins Rutschen gebracht werden können, wenn der Wagen am Zughaken festgehalten wird, wobei die Erwärmung des Motors bei 10 Minuten derartiger Belastung nicht 50° C. der Umgebungstemperatur überschreiten darf.

Die General Elektric Company prüft ihre Motoren, indem der Motorwagen am Zughaken festgehalten wird und die Motoren eingeschaltet werden. Diese Beanspruchung müssen die Motoren eine Stunde lang aushalten, ohne dass mehr als 75 Grad Celsius Erhöhung über Umgebungstemperatur stattfindet.

Reicht die motorische Kraft des Motorwagens aus, um die Adhäsion zwischen dem Radkranz und der metallisch blanken Laufschiene zu überwinden, so ergiebt sich sogar für die Notbremsung mittels Gegenstromes keine Gefahr für den Motor und das gesamte

Getriebe. Es soll darum nicht behauptet werden, dass ein Rückwärtsdrehen der Räder bei der Vorwärtsfahrt des Wagens eine bessere Bremswirkung hervorbringt, als etwa feststehende Räder oder sich gerade noch vorwärts drehende, vielmehr wird der Vorteil beleuchtet, mit den Motoren jede beliebige Manipulation vornehmen zu können, ohne befürchten zu müssen, dass der Motor überlastet wird. Die Betriebsverhältnisse drängen nur zu oft zu der vollen Ausnutzung der zu Gebote stehenden Mittel und darum muss beim Bau die grösstmögliche Ausnutzung vorgesehen werden.

Die Stromwiedergewinnung ist hervorgerufen durch das rein technische Sparsamkeitsgefühl, dessen Befriedigung bei elektrischen Bahnen so nahe liegt, wie nur irgend etwas. Wenn man weiss, dass Dynamo und Motor dieselbe Maschine ist, dann weiss man auch, dass die Lösung dieses Problems möglich ist und vorteilhaft sein kann. Da diese Frage an der Barmer Bergbahn glücklich und vollkommen gelöst wurde, so ist diese Forderung aus dem Betrieb heraus ohne weiteres gerechtfertigt. Ob dieses Ziel mittels der bisher allgemein üblichen Hauptstrommotoren, die für diesen Zweck mit besonderer Akkumulatoren-Erregung arbeiten können, oder der in mancher Beziehung vorteilhafter arbeitenden Nebenschlussmotoren erreicht werden kann, ist gleichgiltig.

Über Gewichte, Leistungen, Dimensionen u. s. w. der üblichsten europäischen und amerikanischen Motortypen giebt die hier eingelegte Tabelle Aufschluss.

b) Form der Wagenmotoren und Schutzkästen.

Die Raumverhältnisse unter dem Wagenkasten sind für die innere Ausgestaltung des Motors massgebend, ebenso ist die Höhe des Wagenkastens stets an die Konstruktion der motorischen Einrichtung gebunden. Aus den nachstehend durch Skizzen dargestellten allgemein angewandten Motortypen ist ersichtlich, dass man besonders in der Höhe und Breite bestrebt war, möglichst geringe Dimensionen zu erreichen.

Die älteste Siemens & Halske'sche Type, Fig. 424, ist wohl die niedrigste aller später gebauten Modelle. Vielleicht verdanken wir gerade dieser für den Wagenbau sehr geeigneten Form den anfänglichen Fortschritt im elektrischen Bahnbau, denn es ist eine bekannte Thatsache, dass neue Verhältnisse nur dann leicht einführbar sind, wenn das Neue sich nach Möglichkeit an das Vorhandene anschmiegt, d. h. in diesem Falle, dass der Elektromotor sich an die im Gebrauch befindlichen, dem grossen Publikum zur Gewohn-

heit gewordenen Strassenbahnwagen anpasste. Erst als man sich mit den elektrischen Bahnen mehr vertraut gemacht hatte, durfte man Motoren konstruieren, welche die in der Höhe gedrängte Form verliessen und dafür andere Vorteile im Gefolge hatten.

Der durch Fig. 424 dargestellte Motor besitzt Trommelanker, gebogene schmiedeeiserne lamellierte Schenkelstücke und gusseisernes Gestell. Diese Lamellierung des Magnetkernes besitzt den grossen Vorzug, dass die Bildung von Extraströmen bei den häufigen Stromschwankungen eingeschränkt wird und dass dadurch die sogenannten Telephonstörungen vermindert werden. Die Herstellung solcher Magnetkerne ist jedoch wesentlich teurer, als die jetzt übliche und daher verlassen worden. Der in Fig. 425 dargestellte Motor ist aus einem Stück gegossen, das Material hierzu kann Gusseisen oder besser Gussstahl und Flusseisen sein. Die Ankerform für dieses Modell

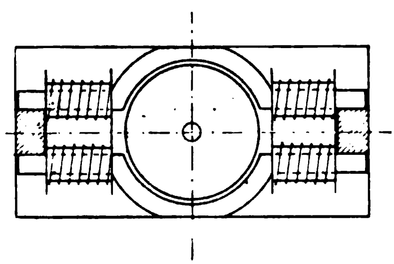


Fig. 424.

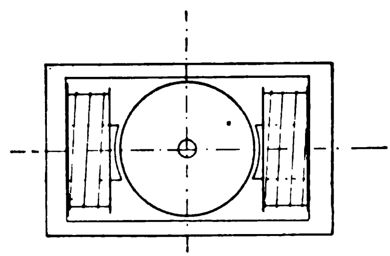


Fig. 425.

war der Gramme'sche Ring, und zwar nicht zum geringsten aus dem Grunde, weil die Reparaturen an Ringankern billiger waren als an Trommelankern alter Konstruktion.

In neuerer Zeit hat man den Ringanker wieder vollständig verlassen und ist zum Trommelanker zurückgekehrt, allerdings mit wesentlicher Änderung in dessen Bewicklung.

Bei geringen Spurweiten der Bahn spricht auch die Breite des Ankers wesentlich mit und ist für die äussere Motorform massgebend.

Fig. 426 zeigt eine in Höhe und Länge möglichst ausgenützte Motorform, welche indessen nach wenigen Ausführungen wieder verlassen worden ist. Fig. 427 zeigt eine weitere Type, deren Magnetisierungsspule unsymmetrisch zum Anker liegt. Ein grosser Vorteil dieser Anordnung liegt gerade in dem unsymmetrischen magnetischen Felde, welches das Gewicht des Ankers zum Teil aufhebt. Da auf dem Wege zur unteren Polfläche Kraftlinien durch Streuung verloren gehen, übt die obere Polfläche eine grössere Anziehungs-

kraft auf den Anker aus, sodass die Ankerlager entlastet werden. Unterhalb der Achse befindet sich keine Wickelung u. dergl., welche einer Beaufsichtigung bezw. Reparatur bedarf.

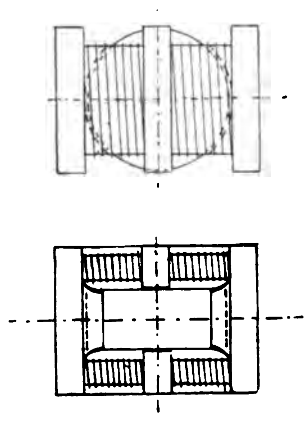


Fig. 426.

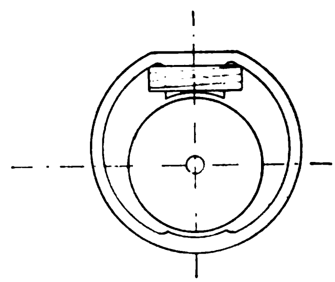


Fig. 427.

Die grösseren Motoren werden jetzt fast durchgängig vierpolig ausgeführt, wie dies in Fig. 428 dargestellt ist.

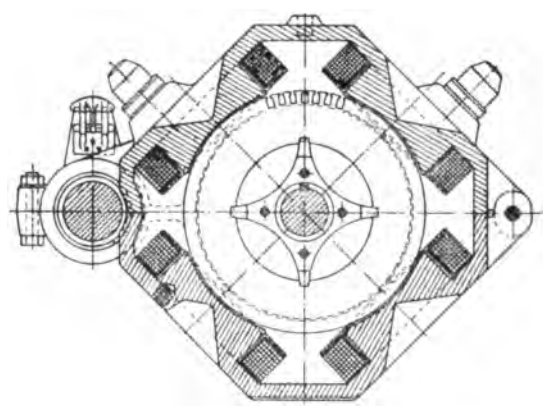


Fig. 428.

Die Schutzkästen für den Motor und die Transmissionsteile gegen Schmutz, Wasser und Beschädigungen bilden einen sehr wesentlichen Faktor für die Konstruktion des Motors und auf dessen Verhalten im Betriebe.

Das Schutzgehäuse für die Motoren wird meistens durch den Motorkörper selbst gebildet. Die früher angewandten, besonders

angeschraubten Zinkblechgehäuse sind zu verwerfen, weil dieselben weder widerstandsfähig sind, noch solide zu befestigen waren, abgesehen von dem höheren Kostenpunkte. Zudem kommt, dass die magnetischen Eigenschaften keineswegs der Konstruktionsbildung eines Gehäuses entgegenarbeiten, sodass kein Grund vorlag, die ursprüngliche Anordnung mit besonderem Kasten beizubehalten.

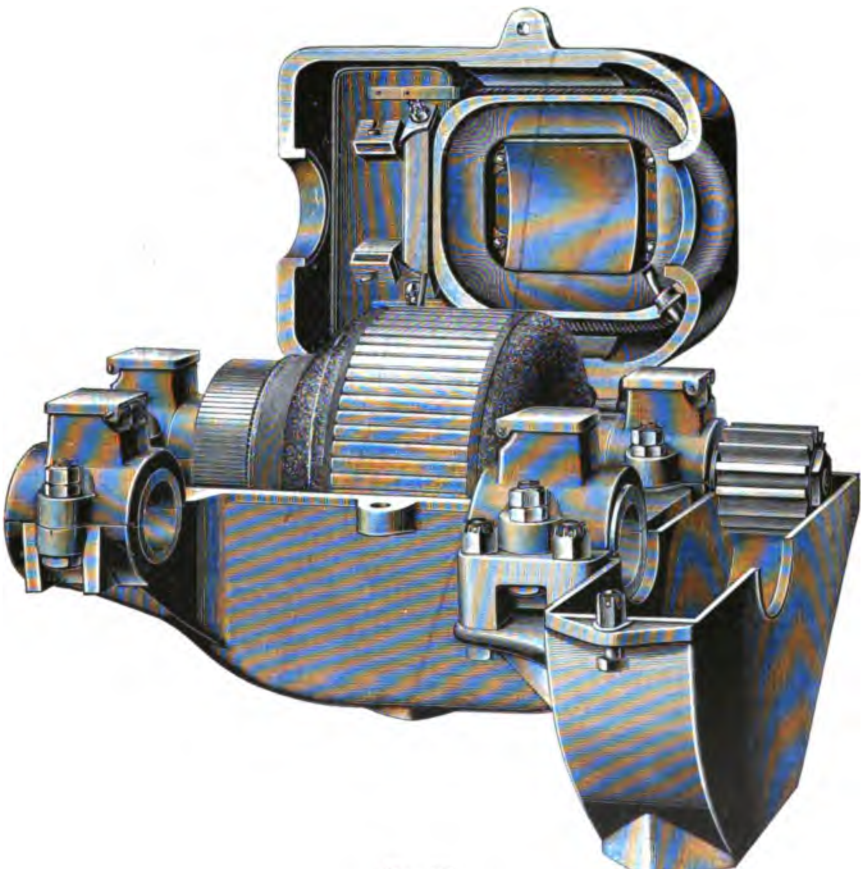


Fig. 429.

Die Schutzgehäuse und demnach die Motorgestelle können in drei verschiedenen Variationen hergestellt sein.

Zur ersten Gruppe gehören diejenigen, welche eine Teilung des Gehäuses in einer Mittellinie der Motorachse zulassen. Bei dieser Anordnung ist das Herausnehmen des Ankers äusserst bequem. Fig. 429 zeigt einen in der Horizontalebene geteilten geöffneten

Strassenbahnmotor, während in Fig. 430 derselbe Motor im geschlossenen Zustande dargestellt ist. Die kleine Klappe dient nur zur bequemen Bedienung der Kommutatorbürsten.

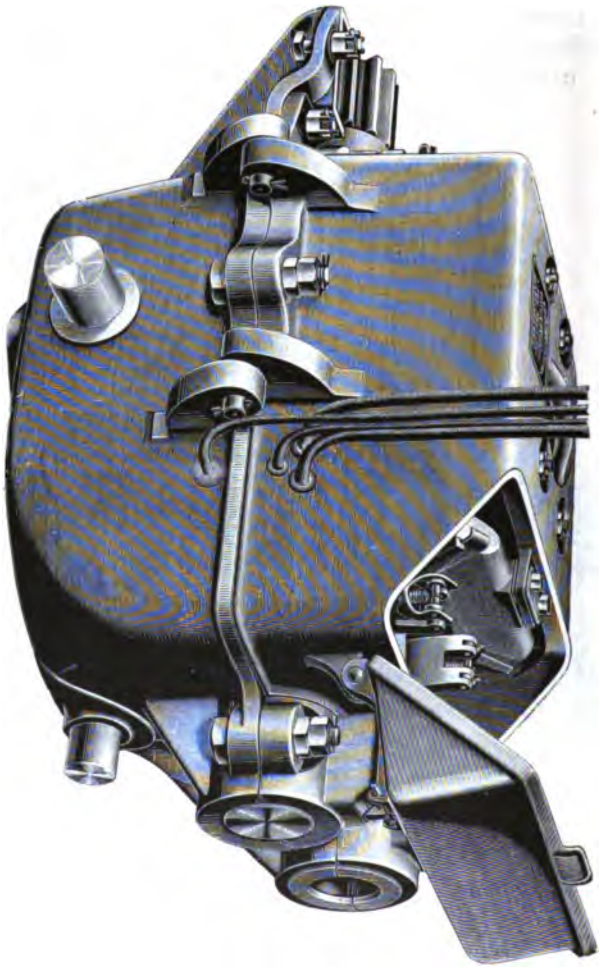


Fig. 430.

Fig. 431a und Fig. 431b zeigen einen Motor der Lorain Steel Company, Lorain Ohio and Johnstown (europäischer Vertreter Arthur Koppel-Berlin), bei welchem die äussere runde Form bezeichnend ist.

Zur zweiten Gruppe gehören diejenigen, deren Gehäuse rings um den Anker herum aus einem einzigen Stück bestehen und deren Abschluss nach aussen durch Stirnschilder geschieht, welche sich senkrecht zur Ankerachse befinden. Bei dem Motor in Fig. 432 ist das Stirnschild nur durch einen Lagerarm ersetzt, der sich für die

untere Hälfte in eine halbe Kapsel verlängert. Der obere Teil des Stromwenders bleibt sichtbar und der Bürstenhalter leicht zugänglich. Das Herausnehmen des Ankers geschieht durch Abschrauben

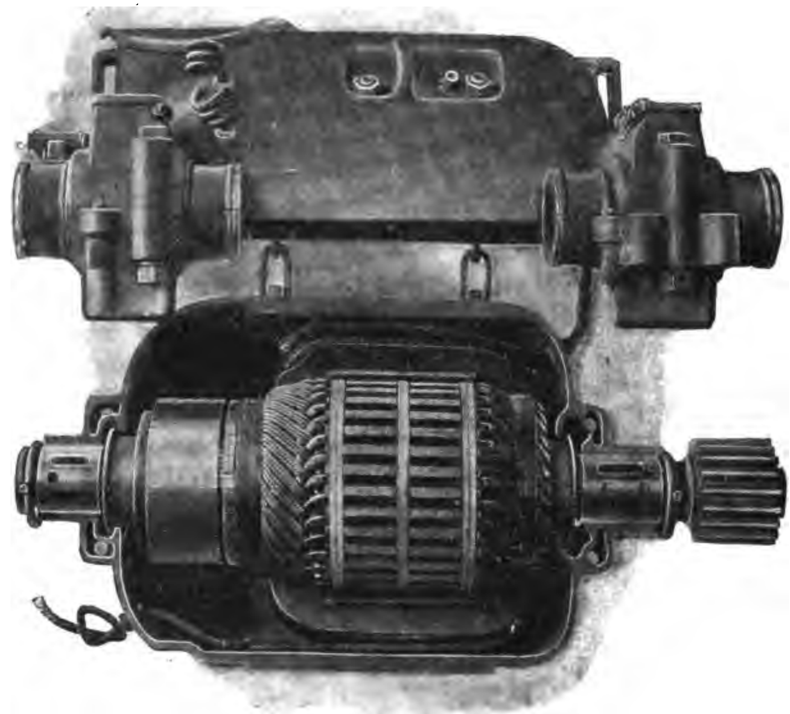


Fig. 431 a.



Fig. 431 b.

eines oder beider Seitenschilder. Das Offenlassen solch' wichtiger Teile am Motor, wie es der Bürstenhalter, Kommutator und Anker sind, ist nicht empfehlenswert, da sowohl Spritzwasser als auch Staub

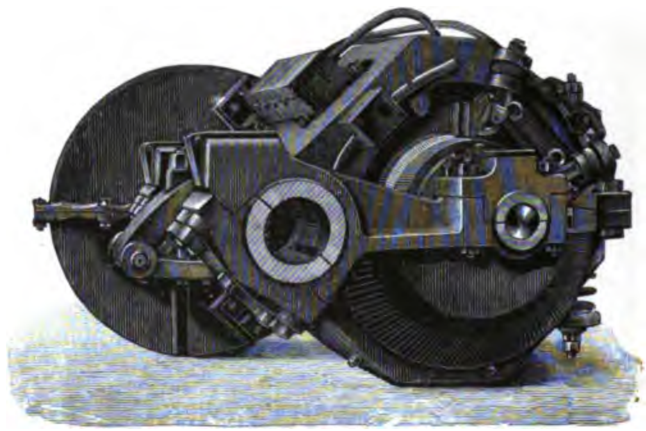


Fig. 432.

an diese empfindlichen Stellen dringen kann. Der Vorteil der halb offenen Seitenschilder liegt andererseits in der guten Lüftung des



Fig. 433.

Motors. Für Strassenbahnen finden solche Motoren keine Anwendung.

Zur dritten Gruppe gehören auch die Kastengestelle, deren Verschluss durch einen gewöhnlichen Deckel bewerkstelligt wird. Durch Fig. 433 u. 434 sind derartige Gestelle veranschaulicht.

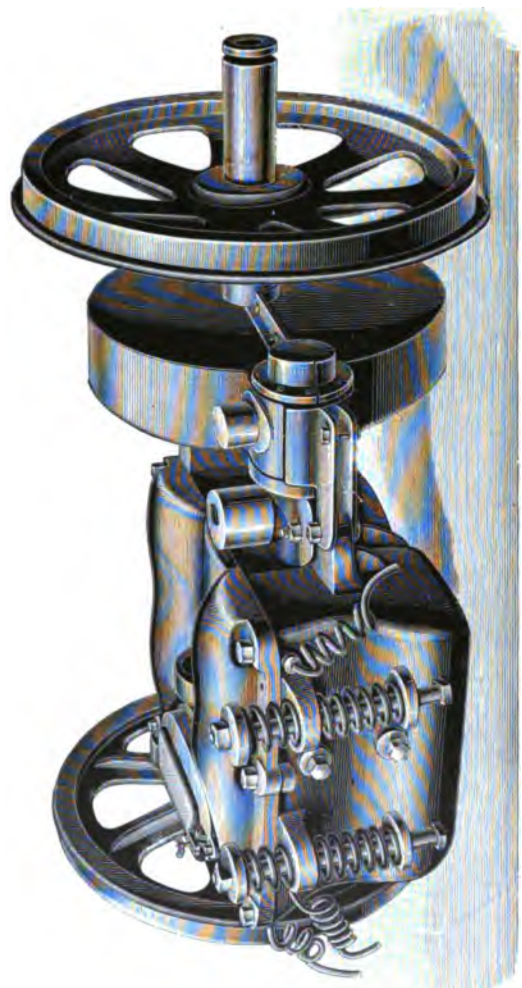


Fig. 434.

Die verbreitetste und beliebteste Form des modernen Motors ist die 4 polige Klapptype nach Gruppe 1 (vergl. Fig. 428.) Diese Type hat vor der 2 poligen den Vorzug geringerer Umdrehungszahl bei gleicher Leistung und geringerer Funkenbildung an den Bürsten. Der in Fig. 435 im aufgeklappten Zustande dargestellte 20 P S Helios-

Strassenbahnmotor zeigt eine 4 polige Anordnung neuester Ausführung.

Zugleich zeigen die vorstehenden Figuren neben den Motorschutzkästen die üblichen Schutzkästen für die Transmission von der

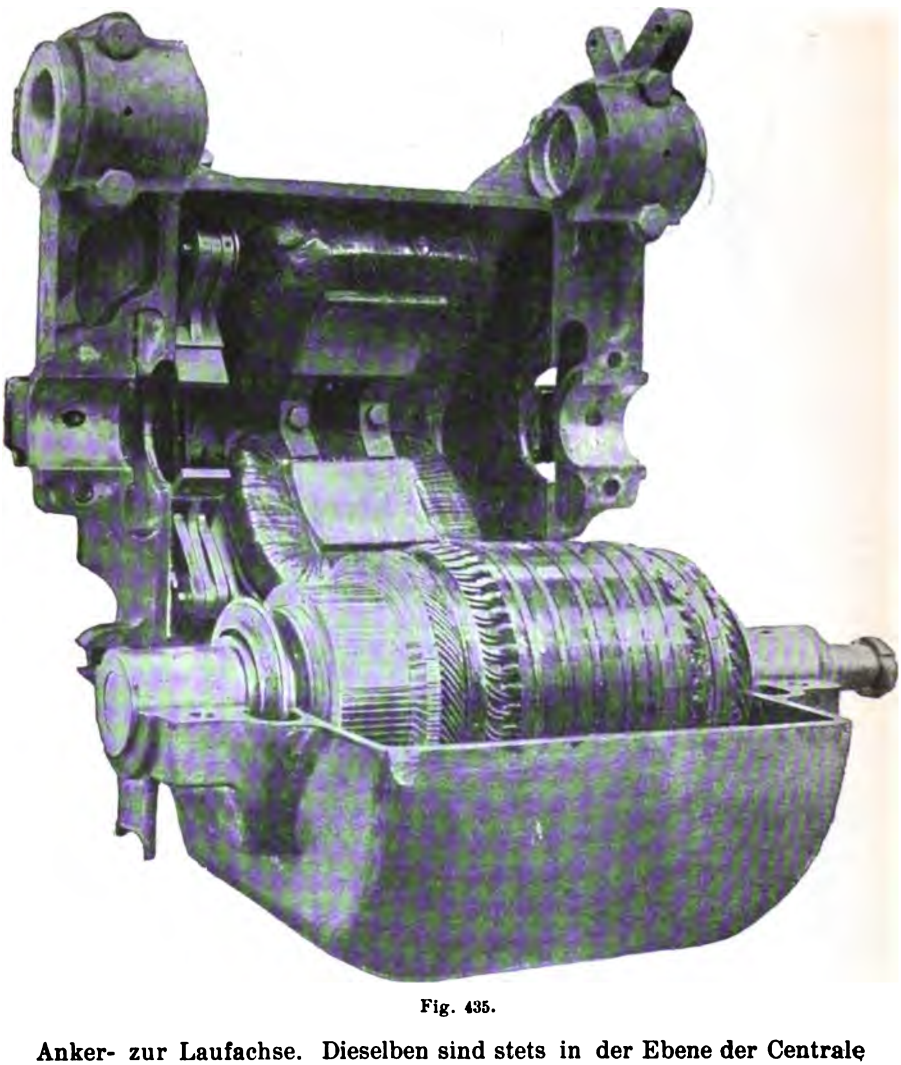


Fig. 435.

Anker- zur Laufachse. Dieselben sind stets in der Ebene der Centrale geteilt und bestehen entweder aus leichtem Guss oder aus genietetem Blech. Diese Kästen dienen einesteils zum Schutz des Getriebes gegen Staub und dazwischenfallende Stücke und anderenteils zum Zusam-

menhalten der Schmiere, mit der die kraftübertragenden Teile, wie Zahnräder, Ketten, Schneckengetriebe, versehen werden müssen. Während in den vorstehenden Konstruktionen gusseiserne Radkästen

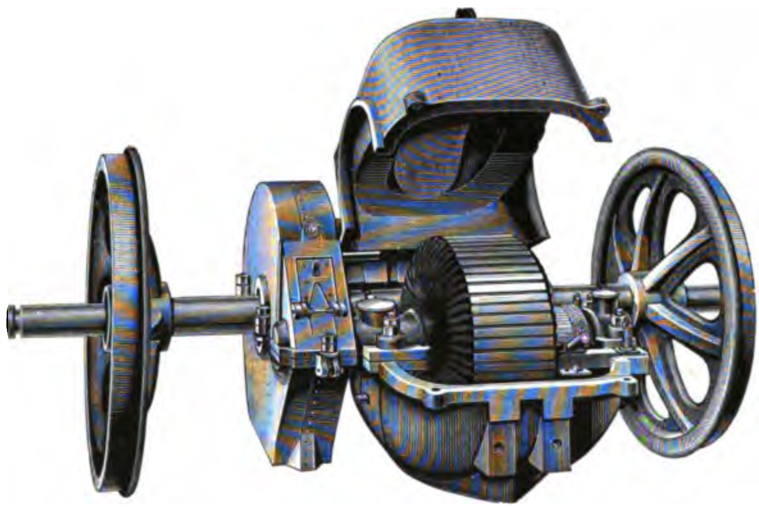


Fig. 436.

dargestellt sind, zeigt die Fig. 436 einen solchen aus genieteten Blechen. Die Blechschutzkästen haben den Vorzug der grösseren Leich-

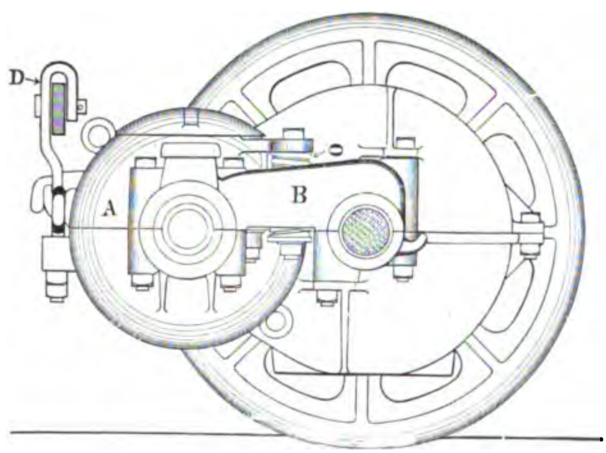


Fig. 437.

tigkeit, während die gegossenen eine grössere Genauigkeit in der Herstellung und grössere Haltbarkeit bei grösserem Gewichte besitzen.

In den Fig. 437 u. 438 ist die Demontierung eines in der Mittelachse geteilten Motorschutzkastens ersichtlich, wie dies zuerst von der Walker Company, später bei der Westinghouse Company und der General Electric Company ebenfalls zur Anwendung gelangte und heute fast ausnahmslos auch bei uns zur Durchführung kommt.

Bei der Konstruktion der Ankerlager ist dem Umstande Rechnung zu tragen, dass ein Eindringen von Öl oder sonstigem Schmiermaterial in das Motorgehäuse ausgeschlossen ist, weil das überflüssige oder mitgerissene Schmiermaterial durch Ablauföffnungen in der unteren Achsenlagerhälfte zur Erde fallen muss.

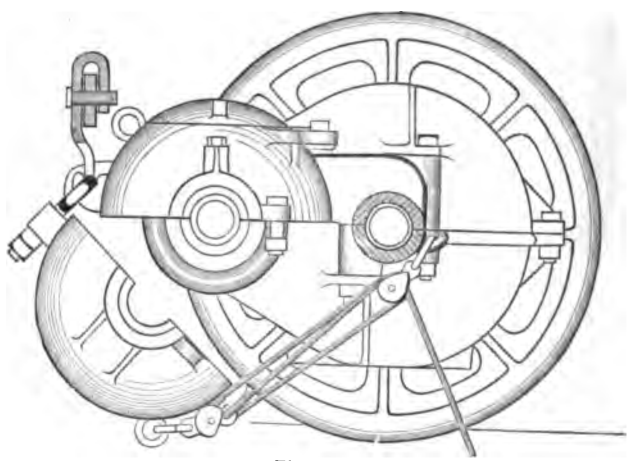


Fig. 438.

c) Anker, Kommutator-Bürsten und Magnetspulen.

Die heute am meisten angewendete Ankerwicklung ist die gestreckte Trommelwickelung, welche den Vorzug hat, dass die toten Drähte auf das kleinste Mass beschränkt sind, und die Spulen leicht aufgebracht werden können. Ihr einziger Nachteil ist die erforderlich werdende breite Trommel. Dieser für Bahnmotoren grosse Nachteil wird aber durch die genannten Vorteile aufgewogen, was durch die allgemeine Anwendung der gestreckten Wicklung bestätigt wird.

Der gezahnte Anker, wie ihn Fig. 439 zeigt, ist wegen seiner vorzüglichen magnetischen und mechanischen Eigenschaften heute durchweg eingeführt. Der Ankerkern besteht nicht aus vollen Scheiben, sondern aus Ringen, die ähnlich wie beim Ringanker auf unmagnetische Radialgestelle aufgeschoben werden. Der innere hohle Raum dient daher als Ventilator.

Das Streben der Konstrukteure geht dahin, den Ankerdurchmesser zu verkleinern und die Zahl der Ankerspulen zu verringern, dagegen die der Windungen pro Spule zu vergrössern. Ein solcher Anker birgt durch diese Konstruktion den Vorteil in sich, dass die



Fig. 439.

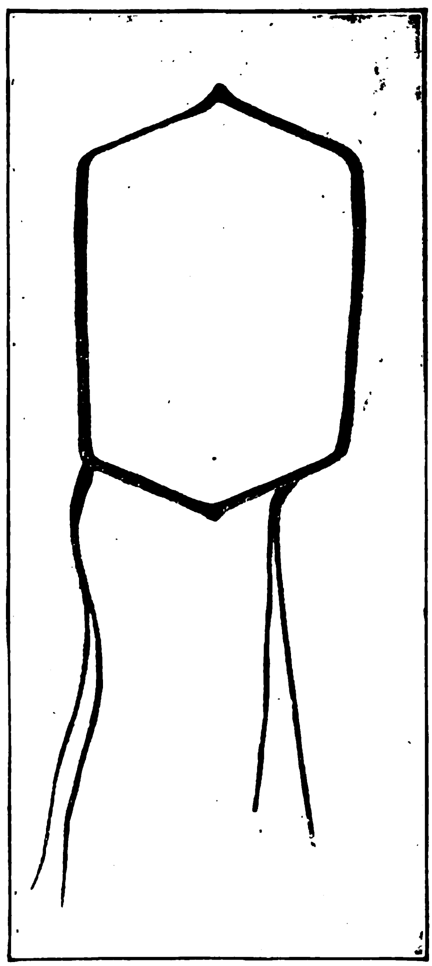


Fig. 440.

Schwungradwirkung des Motors verringert wird und es dadurch ermöglicht, den in Bewegung befindlichen Wagen leichter zum Stillstand zu bringen. Bei grossem Ankerdurchmesser ist die Energie, welche zur Beschleunigung oder Inbetriebsetzung verwendet wird, grösser, als bei Ankern von kleinerem Durchmesser, weshalb im Strassenbahndienst, wo zahlreiches Anhalten nötig ist, der Umstand,

dass für diese neue Motortype ein kleiner Ankerdurchmesser gewählt werden kann, von grosser Bedeutung für die Ökonomie des Betriebes ist. Zudem kommt, dass bei der häufigen Reparatur, denen die Anker bei Strassenbahnen unterworfen sind, diese Änderung einen weiteren Vorteil durch Erleichterung des Wickelns in sich schliesst, andernteils können auch die Ankerzähne bedeutend vergrössert werden, wodurch dieselben bei stark ausgelaufenen Lagern bedeutend widerstandsfähiger gegen das Ausschleifen werden.

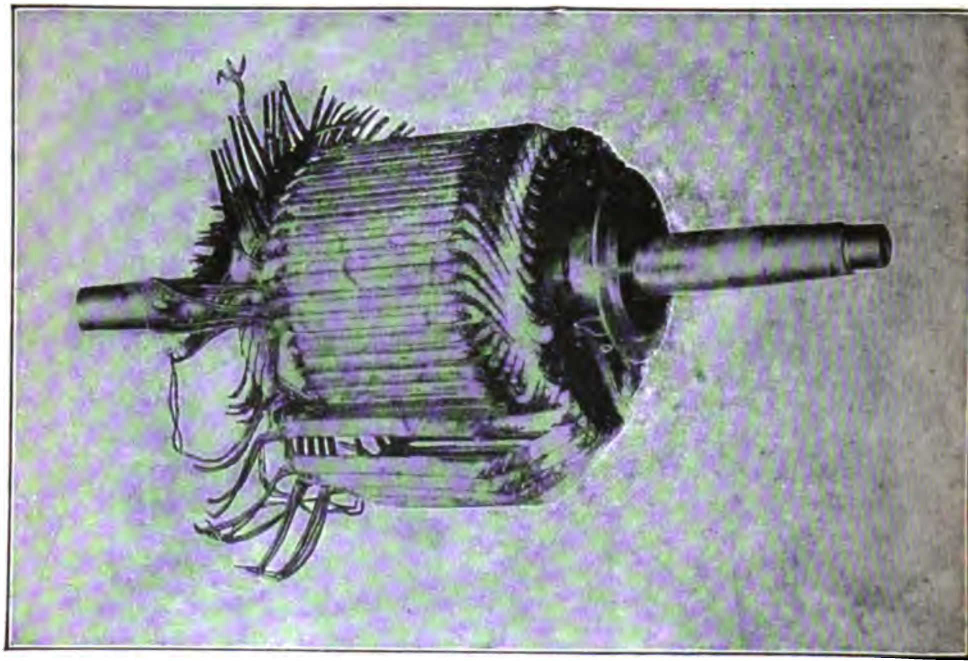


Fig. 441.

Bei Strassenbahnmotoren wird ganz allgemein eine Wicklung angewendet, welche nur zwei Bürsten verlangt.

Bei der Schablonenwicklung werden die einzelnen Spulen auf derselben Schablone vorher fertig gemacht und besonders isoliert, bevor sie zur Einlegung in die Nuten gelangen; die Auswechselung einer Spule ist deshalb äusserst leicht zu bewerkstelligen. Fig. 440 zeigt eine Spule vor dem Einlegen in den Ankerkörper und Fig. 441 zeigt die Einlegung der Spule. Fig. 442 stellt einen fertigen Anker dar.

Der Kollektor besteht aus gezogenen Kupfer-Lamellen und ist reichlich breit für die Stromzuführung mittels Kohlenbürsten

einzurichten. Die Stirnseite desselben trägt eine glatte Kappe bezw. Spritzringe um zu verhindern, dass Öl von den Motorlagern in das Innere gelangen kann.



Fig. 442.

Soll ein rotierender Körper ohne Vibrationen laufen, so muss er ausbalanziert sein, was ganz besonders auch für die Anker des Motors gilt. Da nun dieser Anker aus mehreren Teilen besteht, so werden die Verschiedenheiten der Materialien leicht eine Gleichgewichtsstörung hervorrufen können, wenn auch der Anker selbst mit Sorgfalt hergestellt ist und dem Auge vollständig symmetrisch erscheint. Es kann diese Isolation an einer Stelle dicker als an einer anderen oder auch fester zusammengepresst sein, oder es kann die Welle durch das Zusammenpressen der Eisenscheiben leicht gekrümmt sein. Diese und andere Ursachen können, sich addierend, zusammen auftreten, und das Ergebnis ist die ungleiche Gewichtsverteilung um die Drehachse.

Solche unbalanzierte Anker haben nun den Fehler, dass sie mit Geräusch laufen, doch dieser Nachteil ist der kleinere; ein schlimmerer liegt darin, dass bei den Vibrationen die Isolationen durchgerieben und die Gesundheit des Ankers untergraben wird. Dass diese Wirkung thatsächlich auftritt, ist den Ankerwicklern, welche beschädigte Anker neu zu wickeln haben, wohl bekannt; sie haben nämlich oft gefunden, dass die Isolationspapiere und -zeuge mit den Fingern zu Staub zerrieben werden konnten, weil ihre Struktur durch die Hitze und die Vibrationen vollständig zerstört worden war.

Es kann ein Anker beim Auswiegen vollständig massensymmetrisch erscheinen, also statisches Gleichgewicht haben, und sich dennoch beim Laufen als unsymmetrisch erweisen; dann ist er als dynamisch unsymmetrisch zu bezeichnen.

Zum Zwecke der Ausbalanzierung wird der Anker mit den Wellenenden auf zwei parallele, eben und gleich hoch gestellte Schienen gelegt; er wird sich dann auf denselben so lange drehen, bis sein Schwerpunkt die tiefste Stelle erreicht hat. Der Anker wird nun an verschiedenen passenden Stellen mit Lotstücken beschwert, bis der Gewichtsausgleich erzielt ist. Nun gilt es diese Ausgleichsstücke auf dem Anker zu befestigen, was keine ganz einfache Sache ist. Bei langen Ankern von kleinem Durchmesser wird das Lot zumeist zum Schmelzen und Anhaften an den Bandagen gebracht; doch ist hiergegen einzuwenden, dass Foucault-Ströme in solchen Lotpatzen entstehen und das Lot zum Schmelzen bringen können. Bei starkem Ungleichgewicht darf also diese Methode nicht angewendet werden und man zieht in solchen Fällen ein anderes Verfahren vor. Man befestigt auf dem Ende des Ankers einen eisernen Ring mittels einer starken Schnur und belastet ihn mit Bleistücken. Besser verfährt man für die Anbringung der Ausgleichsgewichte, wenn man einen metallnen Ring aufsetzt, an welchem die Zeugkappe befestigt wird.

Dieser Ring hat am Rande eine Nute, in welche das Zeug eingebunden wird und eine Reihe eingebohrter Löcher, welche die Ausgleichsgewichte aufnehmen. Die Löcher werden am besten vor dem Ausgleich und in gleichen Abständen eingebohrt und dann bei der Auswiegung entsprechend mit Lot oder besser Schriftmetall ausgegossen, weil das letztere sich beim Abkühlen ausdehnt. Fig. 443 zeigt diesen Ausgleichsring im Schnitt.

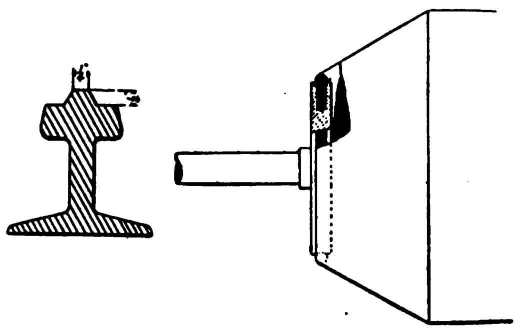


Fig. 443.

Die erwähnten Rollschienen erweisen sich häufig als recht unzuverlässig und geben zur Entstehung von Balanzfehlern Anlass; die Ankerwelle ist oft ziemlich stark magnetisch und klebt dann an den Schienen, sodass der Anker sich nicht bis zur tiefsten Stelle des

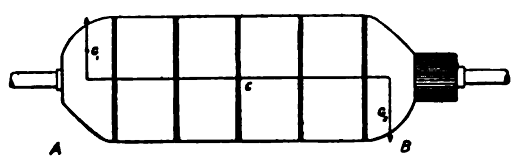


Fig. 444.

Schwerpunktes dreht. Man wird daher die Schienen mit nichtmagnetischem Metall überkleiden müssen und kann für leichte Anker auch Schienen aus Aluminiumbronze anwenden, oder man legt die Ankerachse zwischen geeignete Rollen.

Mittels dieser Verfahren lässt sich nun das statische Gleichgewicht am Anker herstellen. Aber leider reicht dies nicht für das dynamische Gleichgewicht aus. Um dies zu erkennen, muss man die Verhältnisse an Fig. 444 beachten. Nehmen wir an, dass die an dem Ende A zusammengeführten Drähte ihren Schwerpunkt in G_1, die entsprechenden Drahtmengen bei B den Schwerpunkt in G_2 haben. Ein solcher Anker kann nun im statischen Gleichgewicht

sein. Wenn er aber läuft, wirken die Centrifugalkräfte ein und die in G_1 und G_2 angreifenden Kräfte bilden ein Kräftepaar, welches den Anker um den Punkt C zu drehen strebt. Da diese Drehung durch die Lager verhindert wird, so werden die betreffenden Teile der Enden der Ankerwelle an das Lager gedrückt und erfahren hierdurch eine starke Reibung, welche sich in dem Vibrieren des Ankers äussert. Nun ist es unmöglich dieses dynamische Ungleichgewicht durch statische Methoden zu entdecken. Man hat deswegen in anderer Weise zu verfahren. Eine etwas rohe Methode besteht darin, dass man den Anker in die Drehbank einspannt und umlaufen lässt. Hält man nun ein Stück Kreide gegen die Cylinderfläche des Ankers, so wird diese bei vollkommenem dynamischen Gleichgewicht eine ununterbrochene Linie auf derselben ziehen. Schwingt aber der Anker, so wird diese Linie an der Seite unterbrochen sein, welche von dem partiellen Schwerpunkt abgewendet liegt.

Die Bürstenhalter sind symmetrisch und unter sich auswechselbar. Dieselben sind von einander vollkommen unabhängig, werden von aussen in das Motorgehäuse eingeführt, und nehmen zur Oberfläche des Kollektors einen bestimmten unverrückbaren Platz ein. Eine besondere Adjustierung derselben ist nicht notwendig, wenn dieselben eine automatische Vorrichtung, welche einerseits die Abnützung der Kollektor-Oberfläche und anderseits den Verbrauch der Kohlenprismen ausgleicht, besitzt. Dieselben können entfernt und wieder eingesetzt werden, indem die Bürstenklappe geöffnet wird.

Sämtliche Bahnmotoren besitzen Kohlenbürsten. Forbes wies bereits im Jahre 1885 auf Verwendung von Kohlenbürsten, statt Metallbürsten, hin. Seit 1892 sind dieselben jedoch erst in allgemeinen Gebrauch gekommen. Die Kohlenbürste kann mit 5 Amp. für 1 *qcm* belastet werden. Die üblichen Kohlen-Dimensionen sind 32×13 *mm*.

Die Leitungsfähigkeit der Kohle schwankt nach der Herkunft. Carré-Kohle, welche aus Lampenruss hergestellt wird, zeigt die grösste Leitungsfähigkeit, ist aber sehr teuer. Zumeist wird deshalb eine Kohle angewendet, welche aus Petroleumkoks, Teer und Graphit in den ungefähren Verhältnissen von 70, 20 und 10 Teilen fabriziert wird. Der Graphit dient hierbei als Schmiermittel. Über Untersuchungen von Kohlenbürsten und Bürstenhaltern vergl. D. Z. f. El. 1898, H. 10.

Die Magnetspulen werden vor dem Aufbringen auf den Kern fertiggestellt und enthalten für Hauptstrommotoren eine reichlich dimensionierte Wickelung. Sie werden gleich den Ankerspulen vor

ihrer Einlegung sorgfältig durch Isolierband eingehüllt und mit Isoliermasse getränkt.

Diese vorbereiteten Spulen sind, weil gleichförmig, unter einander auszutauschen. Dieselben werden auf der Maschine gewickelt. Diese Spulen werden über die Polschuhe aufgeschoben und es ist dem Verschieben derselben und der Verletzung ihrer Isolation durch besondere Spulenhalter vorgebeugt, welche mit dem Motormantel verschraubt sind. Eine Spule ist in Fig. 445 dargestellt.

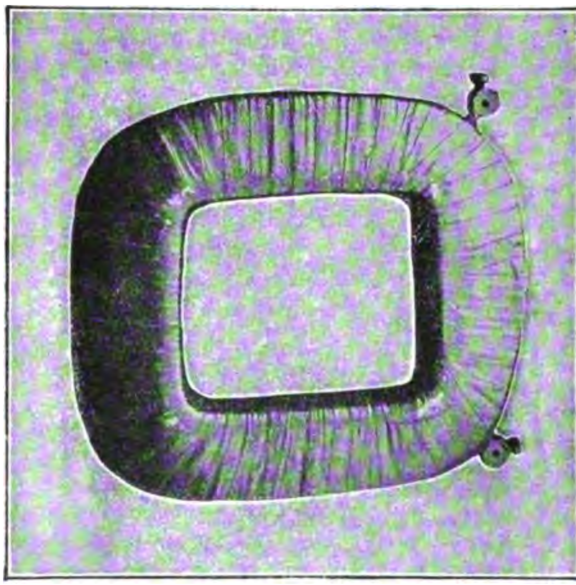


Fig. 445.

d) Isolation der Motoren.

Bei Bahnen, deren einer Pol an der Erde liegt, d. h. bei denen die Schienen als Stromleitung benutzt werden, ist eine grösstmögliche Isolation des Motorkörpers gegen den Erdpol anzustreben, weil sonst ein etwa im Motor auftretender Körperschluss zum Kurzschluss führen kann. Alle Berührungsstellen des Motors mit dem eisernen Wagenuntergestell wurden deshalb früher zweckentsprechend mit isolierenden Zwischenlagen versehen. Die neueren Aufhängungs- und Übertragungskonstruktionen machen indess die Erfüllung dieser Forderung äusserst schwer, sodass man sich darauf beschränkt hat, die Drahtisolation der Schenkel- und der Ankerwickelungen unter sich und gegen den eisernen Motorkörper so sorgfältig herzustellen, dass man die äussere Isolation gut entbehren kann.

e) Konstruktion und Berechnung der Motoren.

Man strebt im allgemeinen dahin, den Nutzeffekt des Motors auf den höchsten Wert zu bringen, um die Betriebskosten nach Möglichkeit niedrig zu halten. Bei stationären Motoren, welche einen gesicherten und geschützten Standort haben und deren Verschleiss nur minimale Grössen zu verzeichnen hat, spielt in den Gesamtbetriebskosten der spezifische Stromverbrauch eine grosse Rolle; daher ist obengenanntes Bestreben dort am Platze. Bei Strassenbahnmotoren sind die Reparaturkosten der Hauptfaktor und diese werden bedingt durch die obwaltenden örtlichen Verhältnisse. Zieht man in Betracht, dass der Elektromotor unter dem Wagen dem Wasser, Schmutz und Staub ausgesetzt ist, dass die Beschädigungen durch die Stösse und Erschütterungen, denen jeder Teil am Bahnwagen ausgesetzt ist, und dass durch die zufälligen Gefährnisse, denen der ganze Mechanismus ständig ausgesetzt ist, grosse Beanspruchungen für die einzelnen Teile des Motors und für die Gesamtanordnung auftreten, so wird es klar, dass man weniger auf den spezifischen Stromverbrauch sein Augenmerk zu richten hat, als auf solche Faktoren, welche eine besonders dauerhafte äussere Konstruktion gewährleisten. Auf schnelle und leichte Auswechselbarkeit aller Teile am Motor ist daher besonderes Gewicht zu legen. Nicht zum Geringsten hat man mit den vielen intensiven Kraft- und Geschwindigkeitsänderungen zu rechnen und darf nicht ausser Acht lassen, dass der gleiche Mechanismus auch zu Zeiten ein Mehrfaches seiner normalen Leistung hergeben und aushalten muss. Kommt dann noch hinzu, dass derjenige, dem die Führung über den Motorwagen übertragen wird, durch seine augenblicklichen Eigenschaften zeitweilig veränderter Lebenslagen in seiner Leistungsfähigkeit vermindert wird, so treffen gewiss Umstände zusammen, welche es ratsam erscheinen lassen, das Hauptaugenmerk von der peinlichsten Frage des Nutzeffektes für jede Beanspruchung abzulenken und auf diejenigen Umstände zu übertragen, welche dem Charakter des Bahnmotors besser entsprechen, d. h. geringe Reparatur- und Unterhaltungskosten anzustreben durch Anwendung einfacher Konstruktionen.

Im praktischen Bahnbetriebe ist es sehr viel wichtiger, die grösste Einfachheit zu erstreben, um mit den denkbar geringsten Reparatur- und Revisionsarbeiten rechnen zu können. Der Nutzeffekt der motorischen Einrichtung spielt nur die untergeordnetere Rolle gegenüber den Unterhaltungskosten. Als Beispiel sei hier angeführt, dass wenn ein Motor-Wagen wegen Revisions- u. s. w. Arbeiten auch nur einen Tag ausser Betrieb bleiben muss, er allein an Zinsen und Amortisationskosten, sowie an Einnahmeverlust mehr kostet, als er bei längerer Betriebszeit an Strom sparen kann.

Sämtliche Arten des Gleichstrommotors sind für Bahnzwecke bereits zur Anwendung gekommen. Der Serienmotor hat sich allerdings das Feld erobert, während der Verbundmotor wieder verlassen wurde. Der Nebenschlussmotor findet nur Anwendung, wenn es sich, wie bei langen Gefällsstrecken, darum handelt, den Motor als stromwiedergebende Dynamo zu schalten. Auf die elektrische Konstruktion der Motoren einzugehen, ist hier nicht am Platze, vielmehr sei zu diesem Zwecke auf das vortreffliche Werk von Gisbert Kapp, Elektrische Kraftübertragung (Verlag Julius Springer), verwiesen.

Einige charakteristische Merkmale und Unterschiede der drei genannten Motorarten mögen hier kurz zusammengestellt werden, um das Verständnis für deren zweckentsprechende Anwendung oder Ablehnung zu erleichtern.

a) Der Hauptstrommotor.

Die Magnetbewickelung liegt in Reihe (in Serie) mit dem Anker, d. h. dieselbe Stromstärke, welche im Anker herrscht, durchläuft auch die Magnetbewickelung. Deshalb besteht die Magnetbewickelung aus wenigen Windungen dicken Drahtes. Sagen wir beispielsweise für einen 500 voltigen Serienmotor von 20 Ampere aus 300 Windungen von 10 *qmm* Draht, das würde 6000 Amperewindungen ergeben, welche für die magnetisierende Kraft der Polschuhe ausreichen sollen. Für die beiden anderen Motorarten soll die gleiche Amperewindungszahl massgebend sein. Es ist bekannt, dass die Magnetbewickelung eines Serienmotors sehr einfach und bei der üblichen Spannung von 500 Volt betriebssicher herzustellen ist. Wenn die mittlere Länge einer Windung bei unserem oben angenommenen Motor, wie er der Wirklichkeit ziemlich entspricht, mit rund 1 *m* gerechnet wird, so wäre der Widerstand der Magnetwickelung $= \frac{0{,}0185 \cdot 300}{10} = 0{,}555\ \Omega$, es gehen also bei 20 Amp. Stromstärke darin verloren $E = 20 \cdot 0{,}555 = 10{,}1$ Volt. Es empfiehlt sich die Schenkelwickelung zwischen Anker und Erdpol zu schalten, um von vornherein geringe Spannungsdifferenz gegen den am Motorgestell liegenden Erdpol zu haben.

Die Anzugskraft ist beim Reihenmotor sehr gross, da mit wachsender Ankerstromstärke auch seine Magnetstromstärke zunimmt, und dementsprechend mehr Amperewindungen erzeugt. Es kommt bei der Beurteilung der Anzugskraft eines Elektromotors vor Allem darauf an, dass das magnetische Feld dem Anker gegenüber sehr stark ist, was beim Hauptstrommotor stets zutrifft.

Jeder Elektromotor nimmt bekanntlich beim Betriebe eine solche Umdrehungszahl an, dass er ebenfalls annähernd diejenige Spannung erzeugen kann, welche ihm vom Netz zugeführt wird. Hat der Motor daher eine konstant bleibende Magneterregung, so bleibt auch seine Tourenzahl ziemlich konstant, wenn die Netzspannung gleich bleibt. Hat er aber, wie der Hauptstrommotor, eine mit der Amperezahl, also mit der Belastung, schwankende Felderregung, so ist er bei gleichbleibender Netzspannung gezwungen bei Entlastung bedeutend schneller zu laufen, da er sonst mit seinem nunmehr schwachen Felde die Spannung nicht mehr zu erzeugen vermag. Ein Hauptstrommotor wird also bei konstanter Netzspannung bei halber Belastung die doppelte Umdrehungszahl als bei Vollbelastung machen. Um dies zu verhindern, benutzt man die später erläuterten Schaltungsweisen.

β) Der Nebenschlussmotor.

Die Magnetbewickelung liegt im Nebenschluss (parallel) zum Anker, d. h. die der Maschine zugeführte Stromstärke teilt sich in den Ankerstrom und den sehr geringen Magnetstrom gemäss dem jeweiligen Widerstande des Leitungszweiges. Deshalb besteht die Magnetbewickelung aus sehr vielen Windungen dünnen Kupferdrahtes. Da auf den Magnetschenkeln eine spezifische Strombelastung von 2 Amp. für das Quadratmillimeter Kupferdraht-Querschnitt nicht überschritten werden soll, um bei Dauerbelastung keine schädliche Erwärmung zu erhalten, so ist der Querschnitt des Drahtes für diese Belastung unter Berücksichtigung der Amperewindungszahl von 6000 zu berechnen. Isolationsrücksichten, Festigkeit des Drahtes, leichte Bearbeitungsfähigkeit und Unterbringung im vorhandenen Raume sollen bei Bestimmung der Drahtstärke neben den rein elektrischen Grundsätzen massgebend bleiben. Vom Anfang bis zum Ende der Spule findet das gesamte Potentialgefälle der Netzspannung statt, woraus erkenntlich ist, dass die Isolierung der Drahtspulen gegeneinander, sowie auch gegen den Motorkörper mit besonderer Sorgfalt zu erfolgen hat.

Die Anzugskraft ist bei zweckmässiger Bauart eine gute, steht indessen dem Serienmotor bezüglich ihrer Regulierungseinfachheit etwas nach. Da das magnetische Feld des Nebenschlussmotors ein konstantes, vom Hauptstrom im Anker unabhängiges ist, so ist derselbe weniger gut in der Lage, Überlastungen anzuziehen. Sofern man aber den Nebenschluss reguliert, ist man imstande jede beliebige, für den Strassenbahnmotor in Betracht kommende Anzugskraft zu erreichen.

Die Umdrehungsschwankung des Nebenschlussmotors, der mit gleichbleibender Netzspannung gespeist wird, bleibt innerhalb 3—4% konstant, da das Magnetfeld konstant bleibt.

Die Anwendung von Nebenschlussmotoren für Strassenbahnbetrieb ist sehr vereinzelt erfolgt, weil der Hauptvorteil der leichten Stromwiedergewinnung erst bei solchen Gefällsverhältnissen wirtschaftlich ist, die bei Strassenbahnen selten vorkommen. Luxenberg (E T Z 1897, Heft 18, S. 259) rechnet aus, dass erst bei einer mittleren Steigung von über $2^1/_2$% ein wirtschaftlicher Vorteil in der Verwendung von Nebenschlussmotoren liegt.

Die vielfach verbreitete Ansicht, dass der Nebenschlussmotor für Bahnen keine genügende Anzugskraft besitzt, ist falsch, da man durch geeignete Dimensionierung die Ankerwindungszahl und die magnetische Induktion, welche auf die Zugkraft von Einfluss sind, so wählen kann, dass die Anfahrzugkraft dem Hauptstrommotor nicht nachsteht.

Bei Bahnen mit reinem Akkumulatorenbetrieb lassen sich für den Nebenschlussmotor noch einige Vorteile finden. (Charlottenburg-Berlin, Paris.)

γ) Der Verbundmotor.

Die Magnetbewickelung ist eine Vereinigung von Hauptstrom und Nebenschlusswickelung. Dieselbe tritt in zwei Schaltungen auf, erstens wenn die Verbundwickelung so liegt, dass sie die Wirkung der Nebenschlusswickelung verstärkt, und zweitens wenn sie dieselbe schwächt.

Bei verstärkender Wickelung vereinigt dieser Motor die guten Eigenschaften des Haupt- und Nebenschlussmotors in abgeschwächter Form. Zunächst sei bemerkt, dass es für die Wirksamkeit des Motors gleichgiltig ist, ob der Hauptstrom sich am Anfang der dicken Bewickelung teilt, oder ob man den Nebenschluss nur parallel zum Anker legt.

Die Anzugskraft des Verbundmotors steht zwischen seinen Vorgängern. Je mehr dicke Windungen er besitzt, desto besser wird er anziehen und Überlastungen aushalten, je mehr dünne Wickelungen er besitzt, desto gleichmässiger wird die Umdrehungszahl sein.

Die Umdrehungsschwankung wird geringer sein als beim Hauptstrommotor und grösser als beim Nebenschlussmotor. Der Verbundmotor lässt sich je nach der Anzahl der variablen Amperewindungen mit 15—20% Schwankungen in der Umdrehungszahl herstellen.

Bei schwächender Wirkung ist die Anzugskraft ausserordentlich gering, denn bei einer gewissen Anzahl dicker Windungen ist es theoretisch und praktisch sehr wohl möglich, gar kein Drehmoment zu erzielen, selbst bei leer anlaufendem Motor.

Die Umdrehungsschwankung dieses Motors kann durch Abgleichung seiner Verbundwickelung so gestaltet werden, dass er absolut gleiche Touren bei jeder Belastung innehält. Vom praktischen Standpunkte aus betrachtet, ist aber ein solcher Motor seiner geringen Anzugskraft halber für Bahnzwecke ganz zu verwerfen und thatsächlich, wo man ihn anzuwenden versucht hat, ist er wieder verlassen worden.

Für die jemalige Wahl des geeignetsten Motors bleiben die Verhältnisse massgebend, die für die Umlaufsschwankung und die Anzugskraft bezw. Überlastungsfähigkeit bestimmt sind.

Von grosser Wichtigkeit und Schwierigkeit ist die Bestimmung über Fahrgeschwindigkeiten und Stromstärken der Wagenmotoren in den verschiedenen Steigungen, weil die beiden variablen Grössen, die Zugkraft und der magnetische Sättigungsgrad, von welchen der letztere selbst wiederum eine Funktion der Zugkraft ist, in Betracht zu ziehen sind.

Auf rein rechnerischem Wege wäre eine Lösung in der That so zeitraubend, dass in der Praxis daran kaum zu denken ist. Um so einfacher gestaltet sich auch hier die Sache bei dem graphischen Verfahren. Vergl. J. Fischer-Hinnen ETZ 1894, Heft 29.

Eine Berechnung von Bahnmotoren für schnelles Anfahren gab Prof. Charles A. Carus Wilson gelegentlich eines Vortrages in der Institution of Electrical Engineers bekannt (Vergl. ETZ 1898, H. 44, S. 734).

Über den Nutzeffekt von Motoren giebt Fischinger in der ETZ 1897, Heft 51 S. 776 nach seinen Messungen an Strassenbahnmotoren folgende Zahlenwerte:

Ohne Rädervorgelege.

(Die Schmierung der Lager geschah mit konsistentem Fett.)

Betriebsspannung in Volt	Verbrauchter Strom in Amp.	Umdrehungszahl des Motors	Leistung in PS.	Wirkungsgrad in %
	a. Bei voller Magneterregung.			
500	71,0	385	33,3	69,0
»	65,0	400	32,2	73,0
»	59,8	412	30,2	74,0
»	54,8	418	27,8	75,0
»	49,3	436	25,8	77,0
»	44.0	452	23,6	79,2
»	38.8	466	21,3	80,2
»	33,8	485	18,6	80,5
»	29,0	508	16.9	80,7
»	23,3	535	13,1	83,0
»	18,7	575	10,0	78,5
»	13,6	650	6,8	73,5
»	11,0	745	5,2	69,8
»	8,4	940	3,3	57,0

b. Bei einer Magneterregung (Schwächung durch Shunt) = 50% des Ankerstromes.

Betriebs-spannung in Volt	Verbrauchter Strom in Amp.	Umdrehungs-zahl des Motors	Leistung in PS.	Wirkungsgrad in %
500	74,0	480	41,8	83,0
»	69,0	485	39,0	83,0
»	64,2	495	36,3	83,0
»	59,7	510	33,7	83,0
»	54,0	523	30,8	83,8
»	49,2	538	28,2	84,2
»	43,6	561	25,5	85,6
»	38,8	586	22,4	85,0
»	33,7	621	19,6	85,0
»	28,5	675	16,5	84,8
»	23,7	763	13,3	82,0
»	18,3	940	9,8	79,0
»	15,8	1095	7,7	72,0
»	11,7	1460	4,4	55,0

f) Aufhängung des Motors.

Der Motor, welcher elastisch gelagert werden muss, wird zum Teil von der Achse selbst, zum Teil vom gefederten Wagenuntergestell getragen, um die empfindlichsten Teile desselben vor den harten Schlägen zu bewahren. Die Isolation der Wickelungen sowohl am Magnetfeld, als auch am Anker leidet unter den Einflüssen der Vibration. Um mithin die durch die Schienenstösse hervorgebrachten Erschütterungen und die durch die Gleisunebenheiten bedingten Schwankungen des Wagens möglichst abzuschwächen, ist die durch Sprague eingeführte und bisher am meisten angewandte federnde Aufhängung eines Motorendes üblich. Bei Zahnradantrieb liegt die Konstruktion der elastischen Aufhängung sehr nahe, indem der Radius des Schwingungskreises des Motormittelpunktes gleich der Centrale der ineinander greifenden Zahnräder ist. Fig. 446 stellt diese einfache Anordnung schematisch dar. Bei Kettenantrieb und bei Schneckenantrieb ist die Anordnung ebenfalls naheliegend und einfach. Ausser der elastischen Lagerung des Motors wird durch diesen Umstand noch ein elastisches Anfahren ermöglicht, indem der

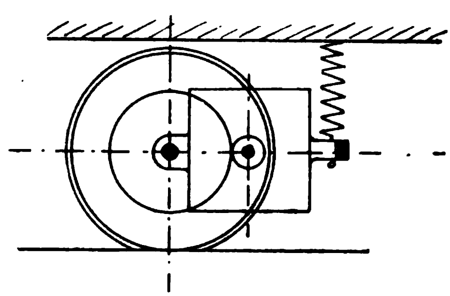


Fig. 446.

Motor die durch Fig. 447 bezeichneten Stellungen bei grossen Kraftschwankungen einnehmen kann und durch sein Gewicht eine Kraftaufsammlung bewirkt.

Erhält der Motor bei direktem Antrieb der Laufachsen eine hohle Achse, welche soviel Zwischenraum lässt, dass die durchgeführte Welle

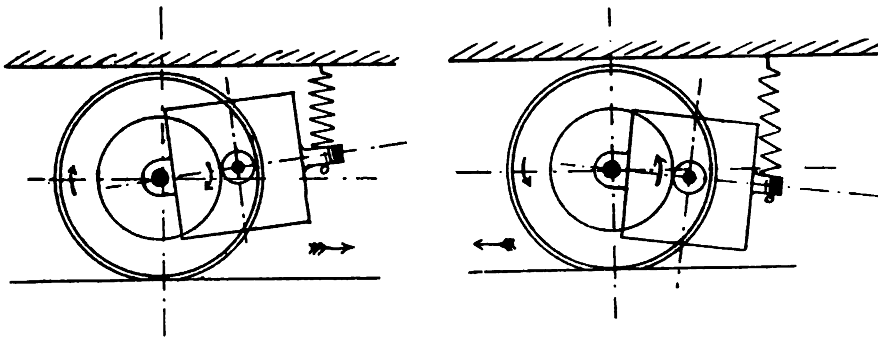


Fig. 447.

nach oben und unten wenige Centimeter Spielraum hat, dann ist die Beweglichkeit des Motors gewahrt.

Die Aufhängung des Motors im Schwerpunkt ist eine für alle obigen Konstruktionen erstrebenswerte Anordnung und hat den Vorzug, dass die Schläge der Gleisunebenheiten in abgeschwächtem Zustande auf den Motor übertragen werden. Eine diesbezügliche Ausführungsform zeigt Fig. 448, bei welcher das angegossene Radachslager am Motor nur zur Centrierung, nicht aber zum Tragen dient. Ein weiterer Vorteil ist die Verminderung der belasteten Lagerstellen und demnach eine Ersparnis an zu ölenden Stellen. Diese Aufhängung stammt von der Westinghouse- und der Thomson-Houston-Gesellschaft und wird von der Union E.-G.-Berlin ausgeführt.

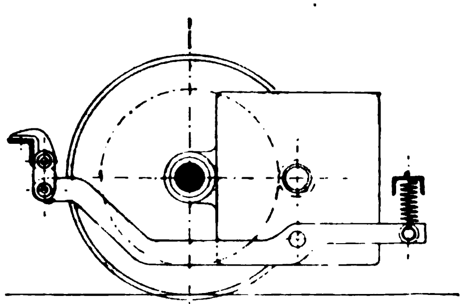


Fig. 448.

In Fig. 449 ist die Walker'sche Aufhängung schematisch und in Fig. 450 bildlich dargestellt und zeigt eine glückliche Vereinigung zwischen der Sprague'schen und der eben beschriebenen Aufhängung, indem hier der Motor vollständig elastisch aufliegt und die Verbin-

dung zwischen Triebachse und Ankerachse durch ein besonderes Lagerstück vermittelt wird.

Bei Verwendung zweier Motoren und bei der Aufhängungsart nach Fig. 447 werden die elastischen Bewegungen der beiden Motoren entgegengesetzt auftreten. Diesen Umstand benutzt das D. R. P. 101 005 (Siemens & Halske A.-G.) zur Lagerung der Motoren an ihrem freien Ende mittels eines doppelarmigen Hebels, wie dies Fig. 451 darstellt.

Die Motoren ruhen mit dem einen Ende auf den Radachsen; das andere ist dicht neben der Schwerpunktachse mit Zugstange d,

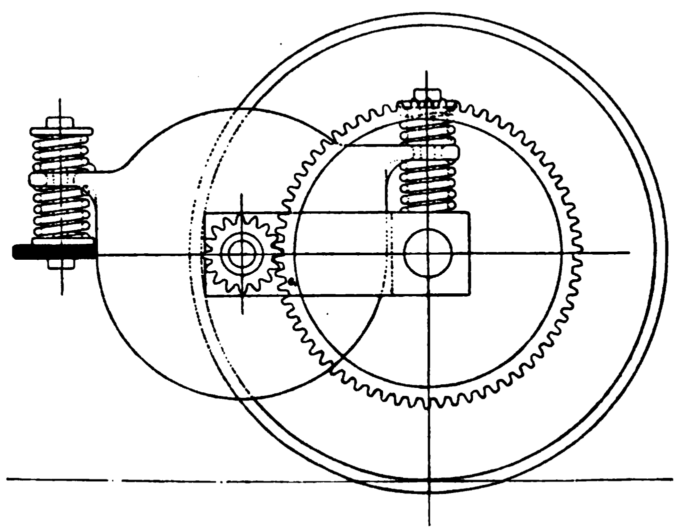


Fig. 449.

d_1 an Querbalken e aufgehängt, die mit Federn auf dem Querträger f ruhen. Ausserdem tragen die Motoren Arme g_1 g_2, die durch einen Bolzen h mit entsprechendem Spiel in einem Schlitz mit einander gekuppelt sind, sodass sie nur gleichzeitige und symmetrische, mässige Schwingungen um die Radachsen ausführen können.

g) Übertragungsmechanismus.

Alle bisher zur Anwendung gekommenen Kleinbahn-Wagenmotoren besitzen hohe Tourenzahlen, und können daher nicht direkt mit der Triebachse gekuppelt werden. Die natürlichste Konstruktion wäre allerdings die, wenn die Radachse mit der Ankerachse des Motors zusammenfiele, was aber nur für Bahnen mit grosser Geschwindigkeit, d. h. Fernbahnen mit 60—100 *km* in der Stunde,

Geltung erhält. Erst dann passen, entsprechend seinen Grössenverhältnissen, seiner Kraftleistung, seiner Umdrehungszahl und seinem Nutzeffekt, die Betriebsverhältnisse des Motors gut. Für geringe

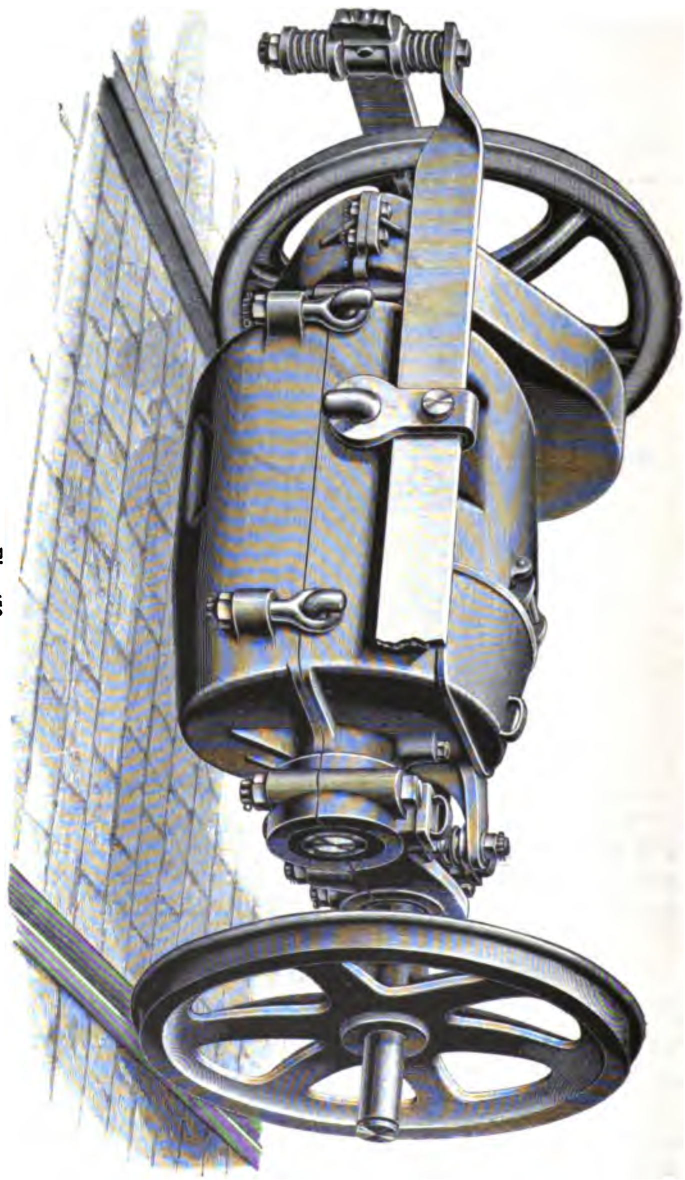


Fig. 450.

Geschwindigkeit, wie solche den Kleinbahnen zukommt, sind die Konstruktionsverhältnisse nicht so günstig, da Elektromotoren hierfür, der geringen Umdrehungszahl wegen, nicht mit brauchbarem Nutzeffekt arbeiten würden. Es sind daher verschiedene Übertragungen zwischen Motorachse und Triebachse bezw. Wagenachse in Anwendung gekommen.

Als langsam gehende Motoren für Bahnzwecke bezeichnet man schon solche, welche 400 Umdrehungen in der Minute machen. Für diese Umdrehungszahlen genügt in der Regel für Strassenbahnen ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 3, oder 1 : 4, oder 1 : 5, sodass es möglich ist, mit einer Übersetzung auszukommen. Ältere Typen bedurften noch zweier Übersetzungen.

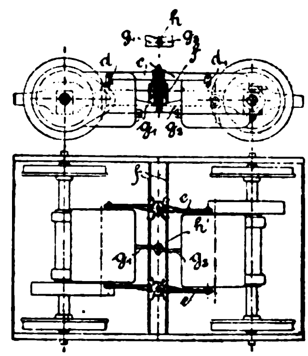


Fig. 451.

Am meisten findet Zahnradübertragung durch Kammräder statt. Fig. 452 stellt ein solches Getriebe dar. Das den Zahnrädern anhaftende Geräusch hat man vereinzelt durch Kammräder mit Winkelzähnen vermindert. Gewöhnlich lässt man verschiedene Materialien

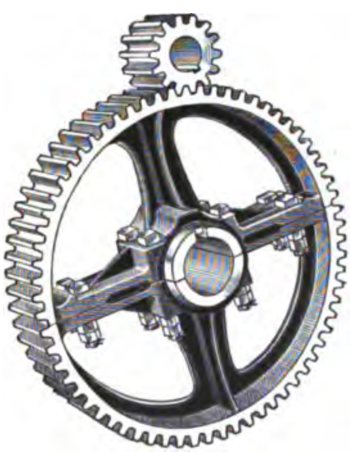


Fig. 452.

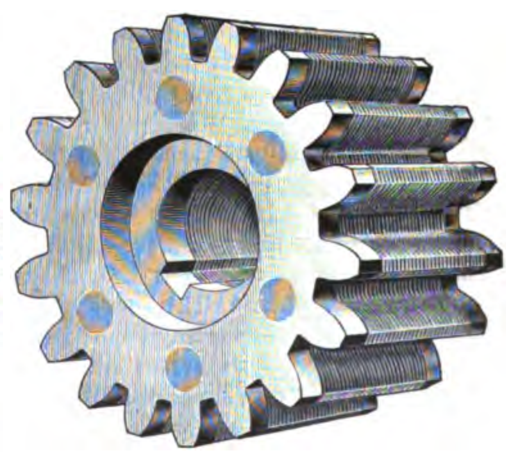


Fig. 453.

aufeinander arbeiten und verwendet vorteilhaft für das Laufachsenzahnrad, welches zumeist zweiteilig hergestellt wird, Stahlguss. Das Ankertriebrad kann aus weicherem Material hergestellt werden und findet bei grossem Zahndruck Stahlguss und Bronze, bei geringerem Zahndruck Rohhaut (Leder), wie Fig. 453 ein solches Rad darstellt,

zweckentsprechende Anwendung. Eine geringe Abnutzung der Zahnräder wird dadurch erreicht, dass ein dichter Schutzkasten das Getriebe umschliesst, in welchem sich konsistente Schmiere befindet. Verschleiss herbeiführende Materialien, wie Staub u. s. w., können alsdann nicht zur Zahneingriffsstelle gelangen. Es empfiehlt sich bei schweren Betrieben die Stahlgusszahnräder an der Oberfläche zu härten. Dieses Härten erfordert eine ganz besondere Übung und Erfahrung.

Mit gutem Erfolge hat die Achsen- und Maschinenfabrik Kunath-Dresden-Neustadt derartige Härtungen nach einem eigenen Verfahren ausgeführt. Derartige Zahnräder weisen eine wesentlich längere Betriebsdauer auf.

Sämtliche Zahnräder müssen gefraist werden.

Gusseiserne Getriebe sollen nach Dawson 50 000 *km* benutzbar sein, während Stahlgussgetriebe zweimal so lange halten. Diese Zahlen sind entschieden viel zu hoch und wird sich die Abnutzungsdauer immer nach den Verhältnissen richten. Da, wo hoher Zahndruck stattfindet und wo Staub zwischen die Zähne kommen kann, ist die Abnutzung höher und kann selbst bei Stahlguss bis auf 15 000 bis 20 000 *km* herabsinken. Hierfür allgemeine Zahlen anzugeben, ist unmöglich.

Wichtig ist es, alle Muttern, Schrauben, Keile, Splinte, innerhalb des Getriebes so zu sichern, dass sie sich nicht lockern können, wodurch vermieden wird, dass derartige Teile in das Getriebe kommen. Es ist hierbei schon viel gesündigt worden, da viele Konstrukteure wenig Rücksicht auf die andauernden Stösse und Vibrationen nehmen, denen der Wagenmotor ausgesetzt ist. Um selbst bei abgenutzten Zahngetrieben stets den für Nutzeffekt und Geräuschverminderung günstigsten Zahneingriff zu haben, wenden Siemens & Halske A.-G. eine durch Excenterringe nachstellbare Centralenverkürzung an. Hierdurch ist es ermöglicht, sehr kleine Zahnteilung anzuwenden, sodass stets mehrere Zähne zugleich im Eingriff stehen.

Ehe man Zahnradübertragungen anwandte, waren Ketten- und Schneckenrad-Übertragungen im Gebrauch.

Die Kette war nach der Art der Gall'schen Kette konstruiert. Besonderes Gewicht war bei deren Konstruktion ebenfalls auf eine geringe Abnutzung zu legen, was durch möglichst grosse und günstig gewählte Reibungsflächen erreicht wurde. Betreffs Schmierung und Einkapselung gilt das Gleiche wie beim Zahnradbetrieb. Auf den im Betrieb grösser werdenden Durchhang der Kette musste bei der Form des Öl- und Schutzkastens Rücksicht genommen werden.

Die Kettenübertragung gestattet eine grosse Konstruktionsfreiheit bei Unterbringung der Motoren im Wagenuntergestell, desgleichen begünstigt sie die Forderung, den Motor vom eisernen Untergestell

des Wagens gut isoliert zu halten. Beide Bedingungen mussten bei den ersten Konstruktionen eingehalten werden und sind erst mit der Zeit überwunden worden. Heute findet die Kette nur noch bei Spezialkonstruktionen Anwendung.

Die Übertragung mit Schneckenrad und Schnecke giebt bei guter Konstruktion beider Teile einen sehr hohen Nutzeffekt sowohl für den Motor als auch für das Getriebe und erfordert geringe Betriebskosten.

Die eingängige Schnecke oder Schraube ist ihrer Selbsthemmung wegen nicht anwendbar, obgleich das mit ihr erreichbare Übersetzungs-

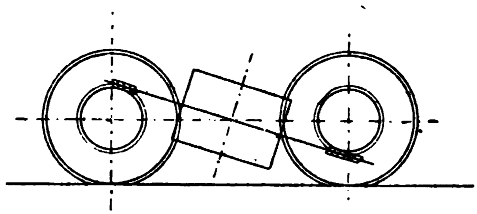


Fig. 454.

verhältnis nicht ungünstig für die Umlaufzahl schnelllaufender Elektromotoren wäre. Zwei- und dreigängige Schrauben entsprechen den Forderungen für unsere Zwecke vollkommen, da es alsdann möglich ist, den Wagen ohne Strom bergab laufen zu lassen und denselben

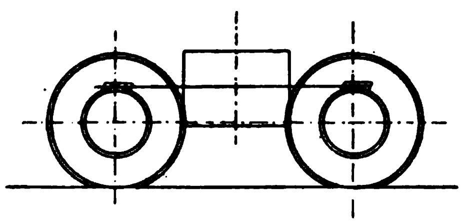


Fig. 455.

ziehen oder schieben zu können. Um den Druck im Kammlager der Schneckenachse aufzuheben, muss man eine Gegenschnecke auf der zweiten Wagenachse anordnen. Greift die erste Schnecke oben an, dann muss die zweite Schnecke unten angreifen, wie Fig. 454 zeigt. Die Schnecken haben in diesem Falle Rechts- und Linksgang. Die Motorachse, welche in der Längsrichtung des Wagens liegen muss, wird hierbei je nach der Fahrrichtung des Wagens entweder auf Zug oder auf Druck beansprucht. Die schräge Lage des Motors, welche durch diese Konstruktion bedingt wird, giebt zu Bedenken Veranlassung, welche verschwinden, wenn die Achse des Motors eine vollkommen horizontale Lage einnehmen kann. (Fig. 455.)

Um der Beweglichkeit der Achsen Rechnung tragen zu können, müssen zwischen den Schnecken und der Motorachse elastische Kuppelungen eingeschaltet werden.

Man muss darüber verwundert sein, dass für die Übertragung vom Motor zur Triebachse der für elektrische Wagen so äusserst geeignete Antrieb mittels Schnecke und Schneckenrad (Schraube und Schraubenrad) keine grössere Verwendung gefunden hat.

Zieht man in Betracht, dass man Motoren mit hohen Umlaufszahlen, mithin also leichte Motoren anwenden kann, und dass die Anordnung des Motors unter dem Wagen sich äusserst günstig gestalten lässt, so muss man auch einige Nachteile mit in den Kauf nehmen können, die der Natur des Schneckentriebes anhaften.

Als solche sind die schädlichen Reibungsverluste sowohl zwischen den arbeitenden Flächen, als auch zwischen den Lagerflächen zu nennen. Der schädliche Druck in Richtung der Ankerachse, den man durch Spurlager, Kammlager oder auch Kugellager aufzunehmen bemüht ist, bleibt unzertrennbar vom Schneckentrieb und ist nur auf Kosten anderer, mehr oder weniger grosser Verluste zu decken. Durch die Bedingung, dass jeder Schneckentrieb am Wagen auch rückläufig sein muss, um den Wagen ziehen oder stossen zu können und um bei der Thalfahrt keine Selbsthemmung bei stromlosem Motor zu haben, ist für die Konstruktion der Schnecke der Steigungswinkel und mit diesem die Druckkomponente in der Richtung der Laufachse gegeben.

Die Rückläufigkeit der Schnecke ergiebt sich ausserdem aus Rücksichten auf Anordnung und Konstruktion. Erstens darf das Schneckenrad nur so gross sein, dass zwischen Unterkante, Radkasten und Erdoberkante gehöriger Spielraum von mindestens 10 *cm* bleibt. Zweitens ist durch die Umlaufszahl des Motors das Übersetzungsverhältnis und durch die Zugkraft desselben die Schrauben-Reibungsfläche und das Biegungsmoment für den Schneckengang und für den Schneckenradzahn gegeben. Unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse ergiebt sich im günstigsten Falle eine zweigängige Schnecke mit ungefähr 30^{0} Steigung.

Der Nutzeffekt eines solchen Getriebes hat sich trotz der auftretenden Reibungsverluste als äusserst günstig erwiesen, und bliebe für einen Verbesserungsvorschlag nur noch übrig, das Augenmerk des Konstrukteurs auf die Entlastung der reibenden Flächen zu lenken.

Durch neuerdings in den Handel gebrachte Globoidschnecken (Maschinenfabrik Pekrun, Coswig in Sachsen), welche auf Zahnkränze mit Rollen arbeiten, ist ein Fortschritt im Nutzeffekt von Schneckengetrieben zu verzeichnen. Betriebserfahrungen im Bahnbetriebe liegen indessen mit diesen Getrieben noch nicht vor.

Noch einige andere Übertragungsarten sind ausgeführt bezw. in Vorschlag gebracht worden, so z. B. Winkelzahnräder, Friktionsräder, Stahldrahtschnüre und Kurbelstangen.

Reibungsübertragung mittels keilförmiger Friktionsräder hat keine ausgedehnte Anwendung gefunden. Antrieb mittels cylindrischer Friktionsräder ist durch Patentschriften bekannt, aber noch nicht in die Praxis übertragen worden, obgleich diese Übertragung

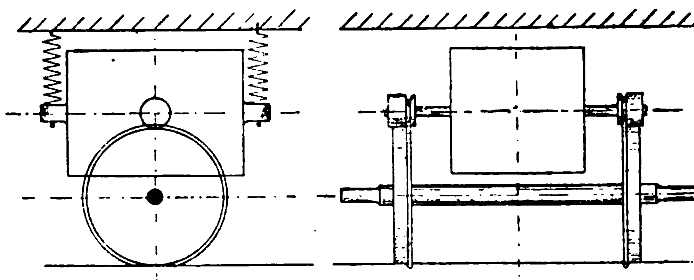


Fig. 456.

die natürlichste ist, weil zwischen den Übertragungsgliedern die gleichen Verhältnisse herrschen, wie zwischen dem Wagenrad und der Schiene.

Die Grundzüge dieser Konstruktion sind die folgenden:

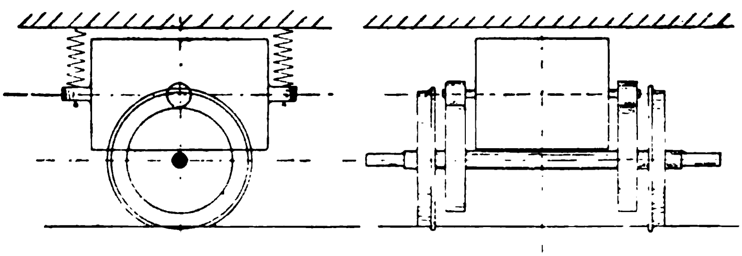


Fig. 457.

Das Lauf- und Treibrad einer Adhäsionsbahn wälzt sich vermöge seines Normaldruckes und der dadurch entstehenden Reibung auf der Laufschiene ab. Die Grenze der Zugkraft befindet sich bei der Reibungsgrenze der berührenden Fläche. Wenn es möglich ist, senkrecht über der Wagenachse den Elektromotor so anzuordnen, wie es Fig. 456 zeigt, dann wirkt das Gewicht des Motors auf das Ankerfriktionsrad und wird das Laufrad in Umlauf versetzen. Das Gleiche gilt von der Anordnung, wie dieselbe in Fig. 457 dargestellt ist, woselbst das Ankerrad sich auf besonderen Scheiben abwälzt. Da der Normaldruck nicht in allen Fällen genügt, um dieselbe

Reibung hervorzubringen, wie sie zwischen Laufrad und Schiene besteht, so müssen für die Friktionsflächen Materialien in Anwendung gebracht werden, welche einen dem geringen Druck entsprechenden grösseren Reibungskoëffizienten besitzen, wie z. B. Hirnholz, Leder u. s. w. Auch ist mittels geeigneter Magnete ein höherer Druck zwischen den Reibungsflächen zu erzielen, ohne dass der Lagerdruck vergrössert wird.

Eine in der ersten Zeit des elektrischen Bahnbetriebes häufig angewandte Übertragung war die mittels elastischer Spiralstahldrahtschnüre. Dieselben haben sich so lange bewährt, als es sich nur um Übertragung kleiner Kräfte handelte. Als man anfing, grosse Steigungen zu überwinden und Anhängewagen zu ziehen, genügten diese Schnurübertragungen nicht mehr und seien daher nur des historischen Interesses halber angeführt.

Die Kuppelung der Räder bezw. Achsen untereinander mittels Kurbelstangen wird durch die Verwendung zweier Elektromotoren, von denen jeder auf einer Achse montiert ist, erübrigt.

Über den Nutzeffekt üblicher Zahnradübersetzungen hat Fischinger Messungsresultate in der ETZ 1897, Heft 51, S. 775 ff. veröffentlicht, welche hier folgen.

Mit Rädervorgelege.

Die Schmierung der Lager geschah mit konsistentem Fett, die der Zahnräder mit sogenanntem Valvoline-Cylinderöl.

Betriebsspannung in Volt	Verbrauchter Strom in Amp.	Umdrehungszahl des Vorgeleges	Leistung in PS.	Wirkungsgrad in %
		a. Bei voller Magneterregung.		
500	76,2	75	34,2	65,7
»	70,0	76,5	32,0	67,0
»	64,8	78,5	30,1	68,5
»	59,5	80,5	27,9	69,0
»	53,8	83	26,2	71,8
»	48,6	86	24,0	72,5
»	43,6	89	21,6	73,0
»	38,2	92	19,2	74,0
»	33,4	95,5	17,1	75,0
»	28,4	100,5	14,1	73,0
»	23,7	109	11,4	71,0
»	18,0	122	8,5	69,5
»	15,8	129	6,7	63,0
»	12,9	147	5,2	59,0
»	10,2	187	3,3	47,0

Betriebsspannung in Volt	Verbrauchter Strom in Amp.	Umdrehungszahl des Vorgeleges	Leistung in PS.	Wirkungsgrad in %

b. Bei einer Magneterregung (Schwächung durch Shunt) = 75% des Ankerstromes.

500	75,5	80,8	36,2	70,5
»	71,2	82,5	34,6	71,0
»	65,5	84,0	32,2	72,0
»	61,0	87,0	30,3	73,0
»	55,4	90,5	28,4	75,0
»	49,6	93,0	25,8	77,0
»	44,3	97,0	23,7	78,5
»	38,8	100,5	21,2	80,0
»	33,6	104,0	18,2	80,0
»	28,0	108,0	15,2	80,5
»	23,0	120,0	12,6	82,0
»	17,3	136,0	9,5	82,0
»	15,0	152,0	8,0	78,5
»	12,8	174,0	6,1	70,0
»	9,6	226,0	3,9	60,5

c. Bei einer Magneterregung (Schwächung durch Shunt) = 50% des Ankerstromes.

500	77,0	90,0	40,8	77,8
»	71,8	91,5	38,4	78,0
»	67,0	93,5	35,9	78,0
»	62,8	96,0	33,5	78,0
»	58,3	99,0	31,2	78,8
»	53,8	102,5	28,6	78,5
»	48,4	107,0	26,2	79,5
»	43,3	111,5	23,4	79,5
»	37,4	117,0	20,4	80,0
»	32,0	125,0	17,4	80,2
»	26,2	138,0	14,4	81,0
»	20,8	159,0	11,0	77,5
»	18,3	180,0	9,4	75,2
»	15,2	213,0	7,4	71,5
»	46,4	125,0	26,1	83,0
»	41,0	132,0	23,0	82,5
»	36,5	145,0	19,8	80,0
»	31,0	164,0	16,8	80,0
»	25,6	192,0	13,0	76,0
»	21,3	217,5	10,9	75,0
»	17,6	256,0	8,4	70,0

Fischinger kommt hierbei zu dem Schluss, dass Valvolineoel vor dem konsistenten Fett als Zahnradschmiermittel zu bevorzugen ist.

3. Schaltungen.

a) Schaltung und Regulierung der Wagenmotoren.

Die bei Hauptstrommotoren üblichen Schaltmethoden sind:

α) Regulierwiderstand im Hauptstromkreis,

β) Regulierwiderstand parallel zur Magnetwicklung,

γ) Umschaltung der Magnetwickelungen,

δ) Hintereinander- und Parallelschaltung mehrerer Anker- und Feldmagnete.

Sämtliche Methoden kommen einzeln und kombiniert vor.

Für den ersten Stromstoss ist in jedem Falle ein entsprechender Ankervorschaltwiderstand erforderlich, welcher so bemessen sein muss,

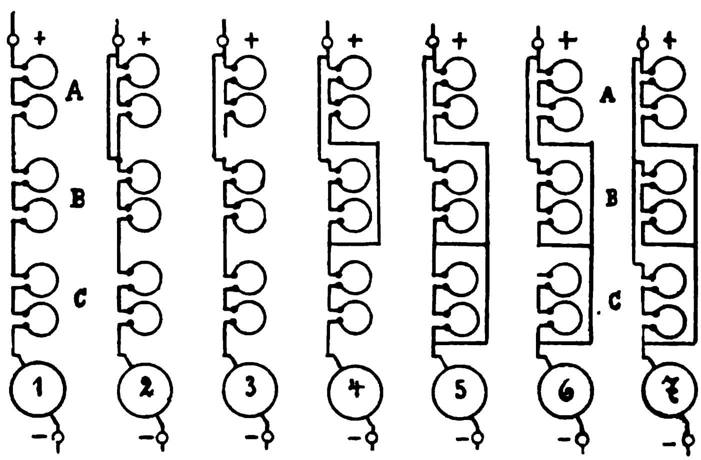


Fig. 458.

dass der Motor beim Anfahren, wo die elektromotorische Gegenkraft gleich Null ist, nicht mit Strom überlastet wird.

α) Regulierwiderstand im Hauptstromkreis.

Bei reinen Vorschaltwiderständen ist es üblich, stets den gesamten Leitungsquerschnitt bei jeder Schalterstellung auszunutzen, indem zuerst sämtliche Einheiten hintereinander und weiterhin mehr und mehr parallel geschaltet werden.

Die von Sprague herrührende Schaltmethode ist nach diesem Grundsatze ausgeführt worden. Einer von Dr. Rasch in der Z. d. V. d. Ing. gegebenen Beschreibung entnehmen wir das Folgende:

Die Magnetbewickelung des Sprague-Motors ist in drei Spulen zerlegt, welche in der Zeichnung (Fig. 458) mit A, B und C be-

nannt sind. Die grossen Buchstaben mögen im folgenden gleichzeitig die Windungszahlen bedeuten, während die kleinen Buchstaben a, b und c für die Widerstände gelten sollen. Der Widerstand des Ankers sei r.

Wie oben erwähnt, ist dem gesamten Motor noch ein kleiner besonderer Anlasswiderstand vorgeschaltet, da selbst die Hintereinanderschaltung sämtlicher Motorwiderstände im Augenblick des Anfahrens eine allzu hohe Stromstärke durchlassen würde.

Den mit dem Motor höchstens erreichbaren Widerstand erhält man durch Stellung 1 in Fig. 459, woselbst sämtliche Spulen A, B, C und der Anker r hintereinander geschaltet sind. Der gesamte Widerstand ist a + b + c + r. In den Elektromagneten kommt zur Wirkung die Windungszahl A + B + C.

Es findet nun bei den weiteren Stellungen 2, 3, 4, 5, 6, 7 ein allmählicher Übergang von der Hintereinanderschaltung bis zur vollständigen Parallelschaltung statt. Die Durchführung dieser Übergänge wird dadurch etwas erschwert, dass der Strom im Anker niemals unterbrochen werden darf und dass der Magnetisierungsstrom die Spulen stets nur in einer Richtung umkreisen darf.

Bei Stellung 2 wird die Spule A kurz geschlossen, somit tritt sie praktisch ausser Wirksamkeit. Der Gesamtwiderstand ist b + c + r, die Windungszahl B + C; beide haben abgenommen, die Umlaufzahl muss also gewachsen sein, wenn Belastung und Spannung gleich geblieben sind.

Die Schaltung 3 bildet den Übergang zur Parallelschaltung der Spulen A und B, indem sich Spule A öffnet. Es ist dies erforderlich, da der negative Pol der Spule A, der bisher mit dem positiven von B (+ B) verbunden war, nun an — B angeschlossen werden soll. Damit durch das Öffnen der Spule A nicht der Ankerstrom unterbrochen wurde, musste sie zuerst durch 2 kurz geschlossen werden, wodurch gleichzeitig + A mit + B in Verbindung kam. In ihrer Aussenwirkung sind die Schaltungen 2 und 3 praktisch gleich, da durch das Öffnen der vorher kurz geschlossenen Spule A sich weder Widerstand noch Windungszahl geändert haben.

In Schaltung 4 finden wir, wie bereits angedeutet, A und B parallel geschaltet, d. h. + A mit + B und — A mit — B verbunden. C ist in der früheren Lage geblieben.

In Schaltung 5 erblicken wir A und B gegen Schaltung 4 unverändert, dagegen ist Spule C kurz geschlossen. Die Ausdrücke für Widerstand und Windungszahl unterscheiden sich also von denen für Schaltung 4 dadurch, dass c und C herausfallen.

Schaltung 6 ist wie Schaltung 3 nur eine Übergangsstufe, indem sich die vorher kurz geschlossene Spule öffnet. Diese Spule bleibt

wie vorher praktisch wirkungslos, sodass also hinsichtlich der Windungszahl und des Widerstandes die Schaltungen 6 und 5 sich ebenfalls nicht voneinander unterscheiden.

Schaltung 7 endlich zeigt uns die drei Spulen A, B und C parallel geschaltet; der in Schaltung 6 offene positive Pol + C hat sich mit + A und + B vereinigt. Die Berechnung des Widerstandes und der wirksamen Windungszahl ergiebt sich für diese Schaltung:

$$\frac{a \cdot b \cdot c}{a\,b + a\,c + b\,c} + r = \text{Widerstand, und}$$

$$\frac{A \cdot b \cdot c + B \cdot a \cdot c + C \cdot a \cdot b}{a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c} = \text{Windungszahl.}$$

In Fig. 459 ist das Schema für den Einschalteapparat zu dieser Sprague'schen Schaltung dargestellt.

Die in der Figur links gezeichneten neun Kreise stellen federnde Kontakte dar und sind, von oben nach unten gerechnet, der Reihe

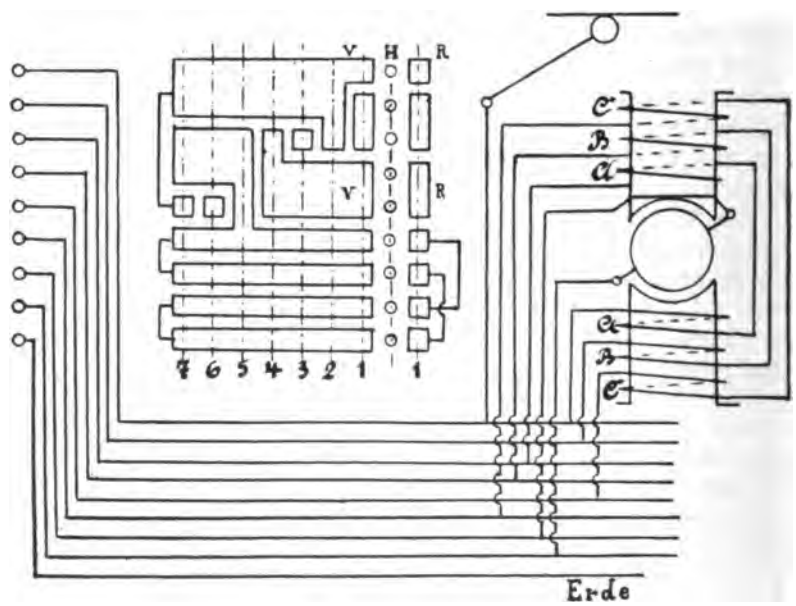


Fig. 459.

nach angeschlossen an: + A, + B, — A, — B, + C, — C, erste Ankerbürste, zweite Ankerbürste, Erde. Mit + A ist auch der Wagenkontakt verbunden, welcher der Fahrleitung den Strom entnimmt. Der mittlere Teil der Fig. 459 ist als abgewickelter Mantel

eines drehbaren Cylinders aufzufassen. Der Cylinder besteht aus Holz, welches im trockenen Zustande genügende Isolation besitzt. Um ein Nasswerden des Holzes durch Anspritzen zu verhindern, ist ein Schutzblech über dem Einschalter befestigt. Gegen feuchte Luft ist der Holzcylinder nicht gut zu schützen, daher ist ein weniger hygroskopisches Material besser am Platze. Auf dem Schaltcylinder, welcher natürlich auch als Scheibe ausgebildet werden kann, sind die Kontaktflächen befestigt. Auf diesen Kontaktstücken können die Federkontakte neun verschiedene Stellungen einnehmen. Stellung 1—7 bedeutet Vorwärtsgang (mit V bezeichnet). Die Stellung 0 ist gleich Halt (mit H bezeichnet) und Stellung 1 rückwärts mit R bezeichnet.

Man erkennt die Schaltungen am besten, wenn man die Figur in senkrechte Streifen schneidet, welche man auf die, die Federkontakte darstellenden Kreise der Reihe nach auflegt. Dabei sind aber auch die links von der Schaltung 7 sichtbaren Drahtverbindungen zu beachten, von denen die beiden unteren sämtliche Schaltungen beeinflussen.

Die Schaltung 1 rückwärts unterscheidet sich von 1 vorwärts hinsichtlich der Schaltung der Magnetbewickelung gar nicht; der Anker wird aber vom Strom in der entgegengesetzten Richtung durchflossen. Bekanntlich läuft ein Hauptstrommotor beim Umkehren der Stromrichtung in derselben Drehrichtung weiter, weil Anker- und Feldmagnet gleichzeitig umpolarisiert werden. Will man Änderung der Drehrichtung erzielen, so muss man entweder den Ankerstrom wenden und die Stromrichtung in den Magnetspulen beibehalten, oder das Umgekehrte herbeiführen. Das erstere geschieht immer, weil der eiserne Ankerkern, aus voneinander isolierten Eisenblechscheiben bestehend, für eine Umpolarisierung gebaut ist, während im massiven Eisenkörper der Elektromagnete sogenannte Wirbelströme beim Umpolarisieren entstehen würden.

Die meisten anderen Motorschaltungen arbeiten mit Hintereinander- und Parallelschaltung von besonderen, von der Magnetisierung der Felder unabhängigen Widerstandseinheiten, ohne auf besondere Stromrichtung Rücksicht nehmen zu müssen.

β) Regulierwiderstand parallel zur Magnetwickelung. (Shunt.)

Das durch Fig. 460 dargestellte Schaltungsschema ist bei der Budapester Unterpflasterbahn zur Geschwindigkeitsregulierung der Wagenmotoren angewandt worden. Es erfolgt die für die schnellere Fahrt erforderliche Schwächung des Magnetfeldes durch Parallelschaltung eines veränderlichen Widerstandes zur Schenkelwickelung.

Der Vorzug dieser Schaltung liegt in der Vereinfachung der Schaltapparate gegenüber den veränderlichen Vorschaltwiderständen.

Fischinger beschreibt in der ETZ 1896 Heft 14, eine Motorregulierung, welche mit der ebengenannten identisch ist. Diese Regelungsart ist die zur Zeit gebräuchlichste.

γ) Umschaltung der Magnetwickelungen.

Zur Gruppe unter *a*) gehört auch diese Schaltung, welche meistens bei vierpoligen Motoren angewendet wird. Wenn zwei Motoren im Wagen vorhanden sind, so kann man auch Kombinationen zwischen beiden Motorbewickelungen vornehmen. Siemens & Halske A.-G. haben diese Schaltung neuerdings mehrfach benutzt. Gegenüber der Sprague'schen Schaltung besitzt diese den Vorteil, mit weniger Leitungen zwischen Motor und Schalter auszukommen.

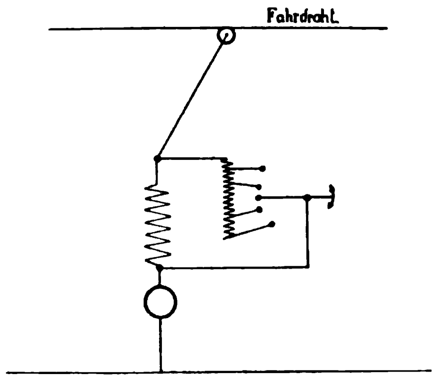


Fig. 460.

δ) Hintereinander- und Parallelschaltung mehrerer Anker.

Diese Methode stellt sich als die Umkehrung der vorherigen dar, indem die Amperewindungszahlen der Anker direkt verändert werden. Um genügend Abstufungen für diese Schaltung zu haben, sind mindestens 2 Motoren erforderlich.

Aus den genannten Schaltungsarten werden die sämtlichen vorkommenden Schaltungen für Motoren zusammengesetzt; es würde jedoch zu weit führen, an dieser Stelle alle Möglichkeiten aufzuzählen, da wohl jede Fabrik ihre eigene Anordnung wählt.

Es kann an dieser Stelle auf das, allein die Schaltungsarten behandelnde Spezialwerk: »Regelung der Motoren elektrischer Bahnen« von Dr. Gustav Rasch, Verlag Julius Springer, 1899, verwiesen werden.

Über seine eigenartige Regulierung der Bahnmotoren berichtet Prof. André Blondel-Paris in der ETZ 1897, Heft 43, S. 659 eingehend. Dieselbe besteht aus einer Vereinigung zweier Motoren mit einer Akkumulatorenbatterie und einer besonderen Serien-Parallel-Schaltung und bezweckt willkürliche Bremsung und Stromwiedergewinnung ohne dem Wagenführer besondere Aufmerksamkeit aufzubürden.

b) Schaltung der Wagen.

Auch hier finden wir wieder die grösste Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung der Schaltungsarten vor, wie wir dies bei den Motorschaltungen kennen gelernt haben. Es kann darum an dieser

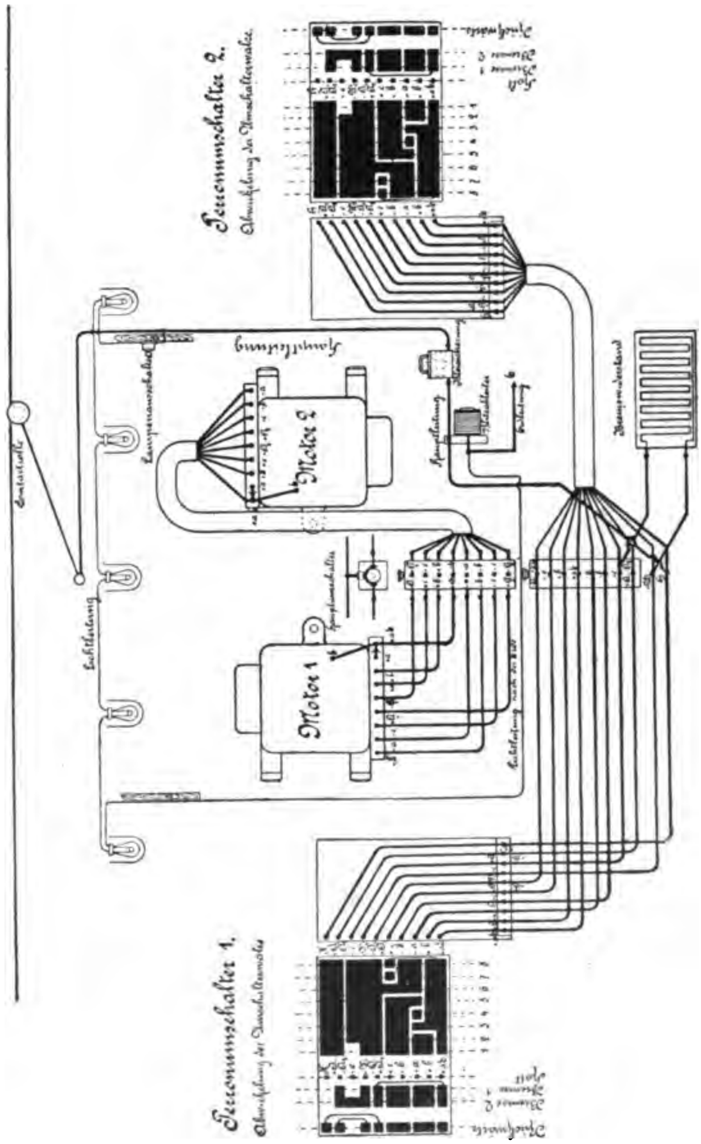


Fig. 461.

Stelle nur auf die Vorführung der am häufigsten angewendeten und der charakteristischsten Schaltungsschemata eingegangen werden.

Die Art der zeichnerischen Darstellung ist eine zweifache. Einmal ist es üblich, den Leitungsplan darzustellen, aus welchem die Lage der einzelnen Leitungen zu einander und zu den Apparaten und Motoren ersichtlich ist, und zum anderen wird das Schema der Schaltungen „Schaltungsplan" durch Aneinanderreihung der einzelnen Schaltphasen so zur Darstellung gebracht, dass man bei jeder Schalterstellung den Stromlauf ohne weiteres ersehen kann.

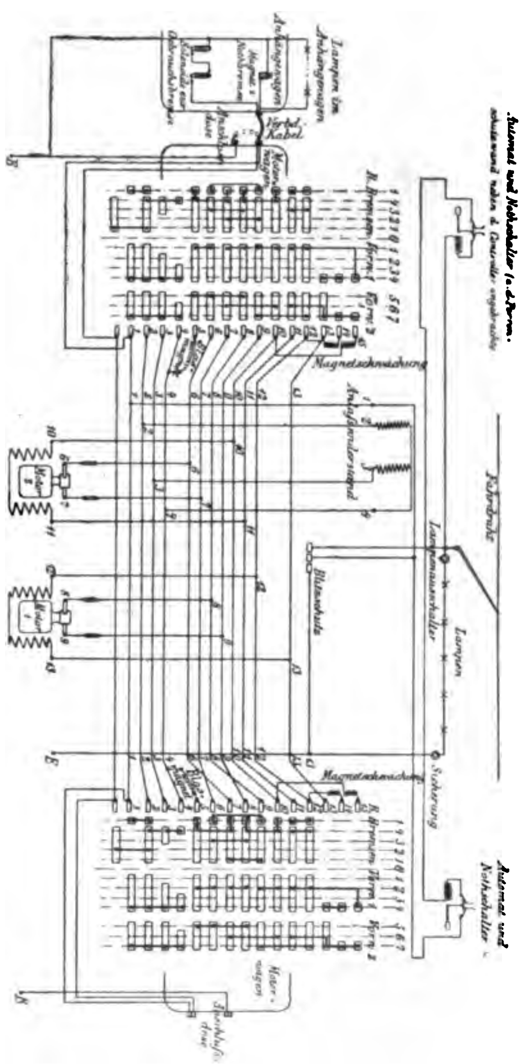


Fig. 462.

Beide zeichnerischen Unterlagen sind nötig, um auch dem Uneingeweihten eine schnelle Übersicht zu ermöglichen.

In dem in Fig. 461 dargestellten Schaltungsschema eines Motorwagens sind die Verbindungen der beiden Schalter und der beiden Motoren zu ersehen; ferner sind in dieser Figur sämtliche Apparate, welche zur betriebsfertigen Schaltung eines Motorwagens gehören, enthalten. Den Stromverlauf kann man entweder dadurch erkennen, dass man die eingeschriebenen Buchstaben verfolgt, oder indem man sich die Motorschaltung so weit heruntergerückt denkt, bis sich die entsprechenden Verbindungsleitungen

decken, wodurch sich die Abzweigungen zu den Motoren ohne weiteres ergeben.

Fig. 462 zeigt die Schaltung eines Motorwagens für zwei Hauptstrommotorrn der Firma Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.), Dresden-Niedersedlitz. Die beiden Schalter sind aufgerollt und die Motoren schematisch durch den Kollektor und die beiden Magnetwindungen dargestellt. Ferner ist die elektrische Verbindung eines Anhängewagens mit dem Motorwagen zur magnetischen Bremsung und elektrischen Beleuchtung angedeutet. Die einzelnen Schaltungsphasen, den Schaltungsplan, bringt Fig. 463 zur Darstellung. Es ist daraus zu ersehen, dass 7 Stufen für Vorwärtslauf, 4 Bremsstufen und 1 Stufe für Rückwärtslauf vorgesehen ist. Aus den beigefügten Bezeichnungen ist ohne weiteres der Stromverlauf und die Aufeinanderfolge der Apparate zu ersehen.

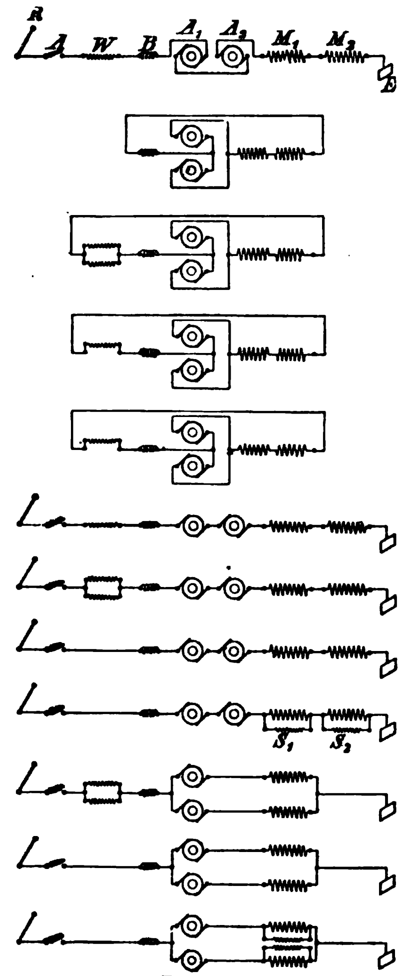


Fig. 463.

Die elektrische Bremsung geschieht hier dadurch, dass die Motoren in Parallelschaltung auf Anlasswiderstände und auf die Magnetwindungen arbeiten. Der Rückwärtslauf entspricht der Schaltung für Vorwärts 1, jedoch mit entgegengesetzter Drehrichtung der Motoren; da der Rückwärtslauf nur selten, zum Rangieren und in Fällen der Gefahr, gebraucht wird, ist nur eine Stufe für langsamen Gang eingebaut.

Um den Stromverlauf aus dem Schaltungsschema, Fig. 462 zu erkennen, verfährt man auf folgende Weise: Man denke sich die durch die arabischen Ziffern 1—15 bezeichneten Schleiffedern des beispielsweise linken Schalters auf die Reihe des aufgerollten Schalters gelegt, z. B. auf Vorwärts 3, von welcher man die Schaltung

verfolgen will. Der Strom wird aus dem Fahrdraht entnommen, durchläuft zunächst den Automat und Notschalter, einen **Parallelstromkreis** für die Beleuchtung abzweigend, gelangt im Verfolge der Ziffern 1 zu der Schleiffeder 1 und von hier zu den Schleifkontakten, welche der Stellung Vorwärts 3 entsprechen. Wie die starke Linie auf den Kontakten anzeigt, sind die Schleifklötze 1—4 miteinander verbunden, sodass der Strom in die Schleiffeder 4 geht, da 2 und 3 durch die Widerstände keine geschlossenen Stromkreise

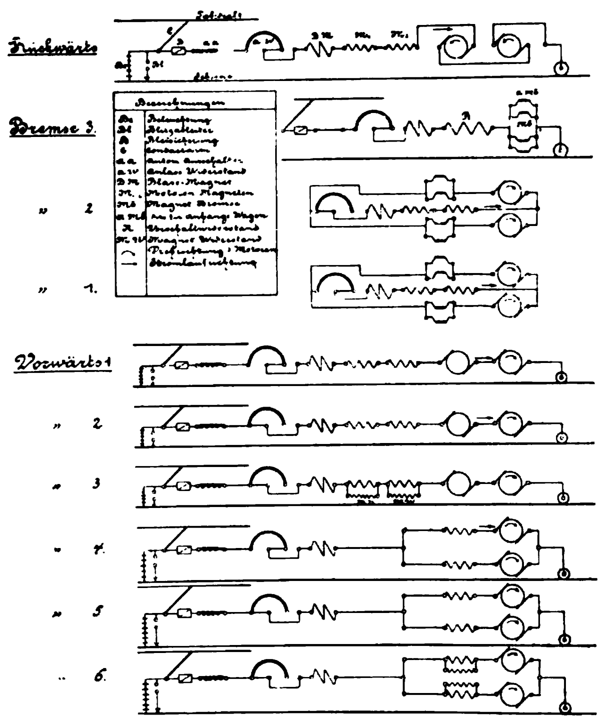


Fig. 464.

bieten. Der Strom muss also durch den Blasmagnet nach 5 und von dort durch die Schleiffeder 6 nach dem Kollektor des Motors 2 gehen; der Strom durchläuft den Anker, verlässt denselben bei 7 am Kollektor und geht durch 8 zum **Kollektor** des Motors 1, kommt bei 9 heraus, geht durch den Anker nach Schleiffeder 10 und weiter durch die Magnetwindungen des Motors 2 nach 11, dann nach 12, durch die Magnetwindungen des Motors 1, nach 13. Schleiffeder 13 hat am Schalter bei Vorwärts 3 keine Berührung, sodass der Strom nicht weiter kann, sondern zur Erde geht und so den Stromkreis

schliesst. Dem Stromabnehmer ist ferner der Blitzableiter parallel geschaltet.

Eine etwas abweichende Art der Schaltung und besonders der magnetischen Bremsung, welche hier durch elektromagnetische Schienenbremsen erfolgt, ist in den einzelnen Schaltungsstufen der Fig. 464 dargestellt. Hier ist der Wagenschalter (Kontroller) mit 6 charakteristischen Stufen für Vorwärtslauf, 3 Bremsstufen, einer Stufe für Rückwärtslauf mit den entsprechenden Übergangs- und Zwischenstufen versehen.

Nachdem der Strom durch den Bügel dem Fahrdraht entnommen worden ist, durchläuft derselbe bei allen Schaltungen für Vorwärts- und Rückwärtslauf zunächst die Wagenbleisicherung und den automatischen Maximalausschalter; von da an ist der Stromlauf bei den einzelnen Schaltstellungen der folgende:

Vorwärts 1: Anlasswiderstand (A. W.), Blasmagnetwickelung (B. M.) zur magnetischen Funkenlöschung, die beiden Magnetwicklungen (M 1 und M 2) und die beiden Anker in Hintereinanderschaltung.

Vorwärts 2: Wie Vorwärts 1, Anlasswiderstand abgeschaltet.

Vorwärts 3: Wie Vorwärts 2, mit Nebenschlussschwächung beider Magneterregungen zur Erreichung grösserer Geschwindigkeit.

Vorwärts 4: Anlasswiderstand, Blasmagnet; Magnetwickelungen und Anker in Parallelschaltung.

Vorwärts 5: Wie Vorwärts 4, Anlasswiderstand abgeschaltet.

Vorwärts 6: Wie Vorwärts 5, mit Nebenschlussschwächung beider Magneterregungen.

Rückwärts: Anlasswiderstand, Blasmagnet, Magnetwickelungen beide Anker hintereinander mit dem Vorwärtslauf entgegengesetzter Stromrichtung.

Bei den Bremsstellungen sind die Magnetbremsen für Motor- und Anhängewagen eingezeichnet; in Stellung 1 und 2 wird der Strom durch die Motoren erzeugt, während in Stellung 3 Netzstrom zur Bremsung benutzt wird.

In »Bremse 1 und 2« speist jeder Motor 2 Magnetbremsen in Parallelschaltung, sodass ein vollständiges Versagen der magnetischen Bremsung fast unmöglich ist.

Der Stromlauf ist folgender:

Bremse 1: Anker, Bremsen, beide Parallelstromkreise vereinigt durch den Anlasswiderstand, Blasmagnet, Magnetwickelungen zu den Ankern zurück. Erdleitung zwischen Motor- und Anhängewagen bleibt aus Gründen besseren Kontaktes fort, bezw. liegt im Nebenschluss zu direkter Stromkreisschliessung.

Bremse 2: Wie Bremse 1, Anlasswiderstand ausgeschaltet.

Bremse 3: Fahrdraht, Sicherung, Anlasswiderstand, Blasmagnet, Vorschaltwiderstand, Bremsen parallel geschaltet, Fahrschiene.

Der Westinghouse Electric Company Limited in London ist eine Schaltungsart unter D. R. P. 104 472 patentiert, welche die folgenden Einzelschaltungen ermöglicht.

a) Reihenschaltung der je mit einem Widerstandspaare versehenen Kraftmaschinen unter voller Einschaltung der Widerstandspaare;
b) Kurzschluss eines Widerstandes jeden Paares;
c) Kurzschluss der zweiten Widerstände;
d) Wiedereinschaltung des einen Widerstandspaares;
e) Wiedereinschaltung der vollen Widerstände;
f) nach vorhergehender Unterbrechung Parallelschaltung der je mit ihrem Widerstandspaar in Reihe verbundenen Kraftmaschinen;
g) Kurzschluss eines Widerstandes jeden Paares;
h) Kurzschluss der verbliebenen Widerstände, zum Zweck, mittels eines Schalters die Motoren unabhängig von einander und symmetrisch bei jeder Belastung zu verbinden.

Die Schaltung der Wagen mit einem Motor ist die gleiche wie für 2 Motoren, nur dass alsdann die entsprechenden Apparate fortfallen.

Ausgehend von der Betrachtung, dass beim Anfahren und elektrischen Bremsen die volle Ausnutzung der Wagen-Adhäsion erforderlich ist, während bei der Fahrt im ebenen Terrain ein Motor allein mit seinem besten Nutzeffekt günstigere Ausnutzung verspricht, ist von der El. A.-G. vormals Schuckert & Co. auch die Kombination der Schaltung s. Zt. angewendet worden, für das Anfahren und die Bremsung beide Motoren zu benutzen und während der Fahrt nur abwechselnd mit dem einen und dem andern Motor, je nach der Fahrtrichtung mit dem vorderen, zu arbeiten.

Die Serienparallelschaltung beim Anfahren, die Einzelschaltung für die Fahrt und die Parallelserienschaltung für die Bremsung dürfte als ein weiterer Betriebsvorteil gegenüber der Anordnung gelten, wo stets beide Motoren in Thätigkeit sind.

Über die Regulierung elektrischer Motorwagen hat E. G. Fischinger in der ETZ 1896, Heft 14, eine bereits vorher genannte eingehende Abhandlung veröffentlicht, auf welche hier hingewiesen werden kann, da sie über den Erfolg und Misserfolg mehrerer Schaltmethoden berichtet.

c) Wagenschalter.

Die Schalter haben den Zweck, die Bewegung des Wagens zu regeln. Die Forderung, mit verschiedenen Geschwindigkeiten vor- und rückwärts fahren zu können, sowie die Eigenschaft der Motoren, erst dann zur Aufnahme der vollen Betriebsspannung befähigt zu sein, wenn sie eine gewisse Umlaufsgeschwindigkeit erreicht haben, macht es nötig, den Schalter mit verschiedenen Schaltstufen zu versehen, welche durch die verschiedenen Kurbelstellungen bethätigt werden.

In der äusseren Form ähneln die meisten Schaltapparate einem schmalen, hohen, an der Perronvorderwand befestigten Kasten mit 1 bis 2 Griffen. Die Drehungsachsen der Schaltcylinder stehen meistens senkrecht. Flachschalter sind wenig üblich.

Die Schalter am Wagen (auch Kontroller genannt) führen dem Motor den Strom von dem Wagenkontakte zu und verteilen ihn für die verschiedenen Schaltungen. Eine Hauptkonstruktionsregel für die Kontaktvorrichtung am Schaltapparat wird durch den Umstand bedingt, dass die Kontaktwalze oder Kontaktscheibe in fortwährend benutztem Zustande sich befindet. Jedes Anfahren, jede Geschwindigkeitsänderung, jedes Anhalten muss durch den Schaltapparat bewirkt werden. Die letztere Handhabung

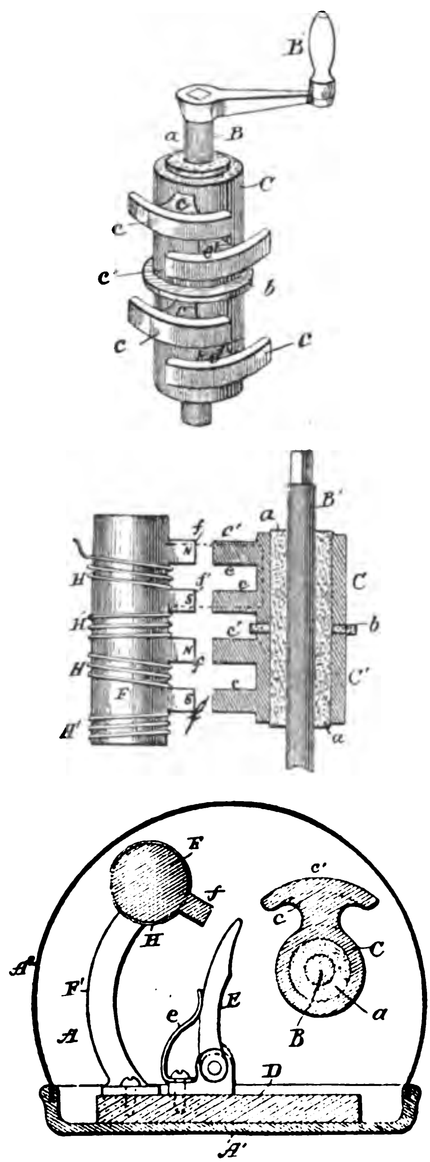


Fig. 465.

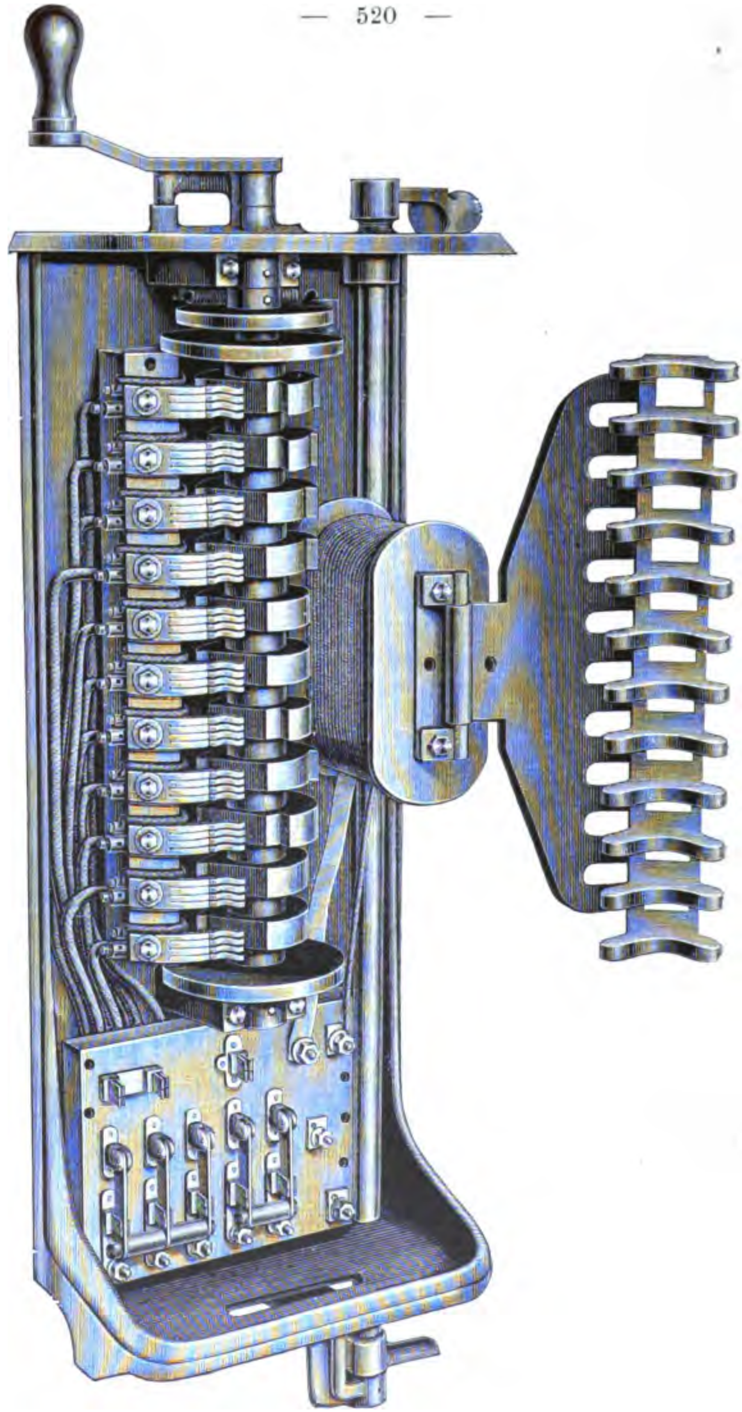
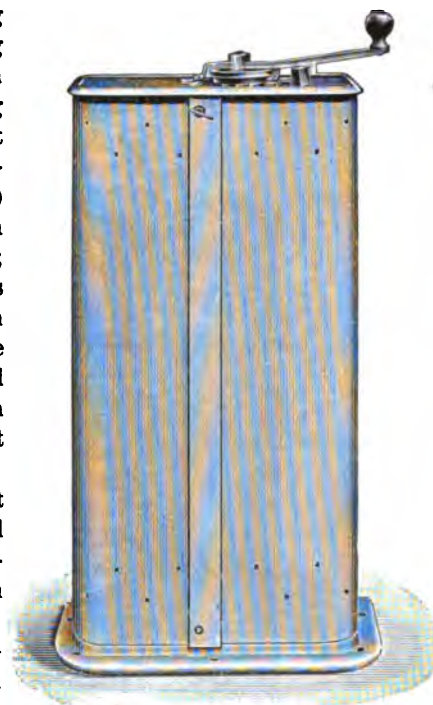


Fig. 468.

Fig. 469 und 470 zeigen den bei der »Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.), Dresden-Niedersedlitz«, üblichen Steuerapparat, (geschlossen und offen), der für Anfahren, Vor- und Rückwärtsfahren nur eine einzige Kurbel bezw. eine einzige Schaltwalze aufweist. Die Drehung der Kurbel aus der Nullstellung nach rechts vermittelt in neun Vorwärtsstellungen, die jeweilig durch ein Schnapprad fixiert werden, das Parallel- oder Hintereinanderschaltender(Hauptstrom-) Motoren (selbstverständlich mit den nötigen Widerstandsabstufungen); die Drehung von Null nach links ermöglicht vier Bremsstellungen und eine Rückwärtsstellung. Die Änderung der Drehrichtung wird dadurch erzielt, dass der Strom umgekehrt in den Anker geschickt wird.


Fig. 469.

Dieser Steuerapparat bleibt auch für andere Schaltungen und für Hauptstrommotoren mit Akkumulatoren bezw. für gemischten Betrieb anwendbar.

In neuerer Zeit versieht dieselbe Firma den Apparat auch mit einer besonderen Umkehrwalze mit zwei Schaltstellungen (für die Vor- und Rückwärtsfahrt), die nur in Thätigkeit treten kann, wenn die Anlasserwalze sich in Nullstellung befindet. Die Anlasserwalze dient gleichzeitig als Kurzschlussbremse (Drehung der Kurbel nach links).

Für grössere Stromstärken baut diese Firma Steuerapparate mit zwei parallel geschalteten Anlasserwalzen, die durch Zahnräder von der Kurbelspindel aus in Drehung versetzt werden.

Die Perronschalter sind bei dem dauernden Gebrauch leicht zu Betriebsstörungen geneigt. Es ist daher wünschenswert, neben dem Gebrauchsschalter einen Notausschalter zu haben, mit welchem man den Strom sofort unterbrechen kann, falls am Hauptschalter die Handhabung versagt. Wenn es möglich ist, den Wagenkontakt von dem Fahrdraht mit einem bequemen Griff abzuziehen, kann man des Notausschalters entbehren.

Die Verteilungsschalter, um z. B. einen der beiden Wagenmotoren ganz aus dem Betrieb nehmen zu können, falls er auf der Strecke defekt geworden ist, bieten ebensowenig wie die Bleisicherung zum Schutz von Stromüberlastung an Leitungen und Maschinen eine Sonderheit gegenüber anderen elektrischen Anlagen, wenn nur immer die Spannung von 500 Volt für die Konstruktion der Teile in Be-

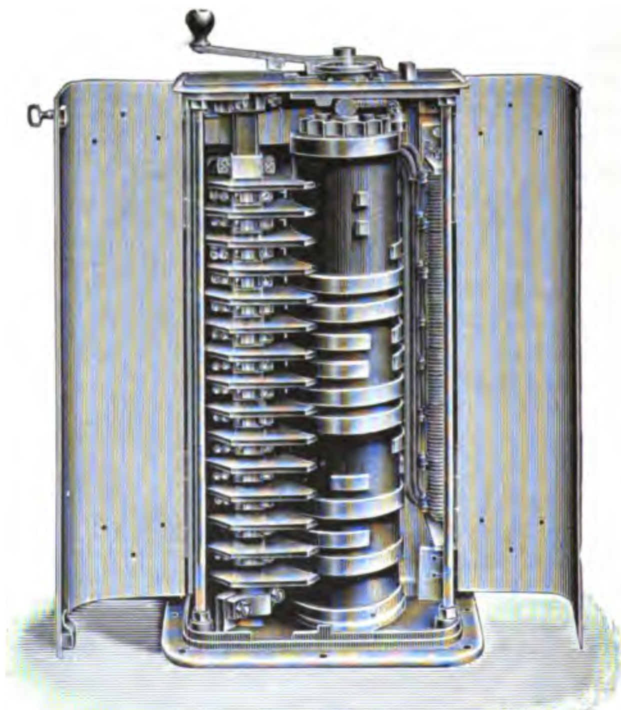


Fig. 470.

tracht gezogen ist. Es genügt daher betreffs dieser Konstruktionsteile der Hinweis auf die üblichen Konstruktionen.

Eine zweckmässige Unterbringung der Wagenschalter erfolgt neuerdings in sogenannten Schaltschränken, welche vorn am Perron aufgestellt sind. In diesem Schaltschrank vereinigt man alle Hebel, Apparate u. dergl., die man der Zugänglichkeit des Publikums entziehen will.

d) Wagensicherungen.

In dem Entwurf zu den Sicherheitsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker für elektrische Bahnanlagen, vergl. Abschnitt VI, 2 g, heisst es in § 19 a:

»Jeder Wagen muss mindestens eine Hauptsicherung für die motorischen Teile haben«.

Aus den weiteren Sätzen dieses § geht hervor, dass diese Sicherung als Bleisicherung gedacht ist.

Es erscheint daher zweckmässig, Betrachtungen darüber anzustellen, ob die Bleisicherung für den motorischen Teil im elektrischen Wagen imstande ist, das zu erfüllen, was die Sicherheitsvorschriften von ihr verlangen sollen.

An anderer Stelle genannter Vorschriften und zwar in § 11, wo von der Dimensionierung der Wagenleitungen die Rede ist, heisst es, dass der Querschnitt aller Leitungsdrähte innerhalb des Fahrzeuges nach der Normalstromstärke der vorgeschlagenen Sicherung zu bemessen ist.

Nun giebt es im Wagen eigentlich keine Normalstromstärke, welche dauernd die Wagenleitungen beansprucht, und man kann daher auch nicht von einer normalen Stromstärke im Wagen sprechen. Eine Bleisicherung ist zu ihrer Wirkung an die Stromwärme gebunden, welche stets einige Sekunden den Bleistreifen durchfliessen muss um die Schmelzwärmemenge zu erzeugen.

Es ist aber bei den Wagen nicht die Bleisicherung die empfindlichste Leitungsstelle, wie dies bei stationären Lichtanlagen der Fall ist, sondern die Kontaktfläche zwischen Fahrdraht und Wagenkontakt stellt im Bahnbetriebe den gefährlichen Punkt der Leitung dar, wenn beispielsweise beim Anfahren des Motorwagens die Stromstärke übermässig steigt.

Die geringe Berührungsfläche zwischen Wagenkontakt und Fahrdraht hat nur dann seine Berechtigung, wenn man einmal genügend Gelegenheit zur Abkühlung der berührten Flächen giebt, und andererseits die Berührungsflächen sehr oft wechselt. Nur unter diesen Voraussetzungen bewährt sich die Kontaktstelle, welche stets eine Ausnahmestellung gegenüber den üblichen Installationsgepflogenheiten darstellt.

Es ist daher erklärlich, dass man bei Bestimmung der Sicherung auf diesen schwachen Punkt Rücksicht nehmen und die aus Sicherheitsgründen zu fordernde Schutzvorrichtung hiernach konstruieren muss.

Der Inhalt der Sicherheitsvorschriften bezieht sich nicht allein auf die Feuersicherheit des Wagens, sondern auch auf den statischen

Zustand der Leitungsanlage. Hier wird verlangt, dass der Fahrdraht mit einer dreifachen Sicherheit zu montieren ist.

Man stelle sich nun folgenden Fall vor, welcher geeignet ist, die Wahl der Sicherung näher zu präzisieren.

Wenn ein Wagen mit Kurzschluss anfahren soll, so wird beim Einschalten eine übernormale oder Kurzschlussstromstärke vom Fahrdraht über den Wagenkontakt durch die Leitungen des Wagens u. s. w. zur Erde gehen. Es werden je nach der Stärke der Wagenbleisicherung einige Sekunden vergehen, bis die Bleisicherung abschmilzt und sowohl die Wagenleitungen als den Fahrdraht und die Zuleitungskabel von der Kurzschlussstromstärke befreien.

Diese Zeit kann indess vollständig hinreichen, um Holzgegenstände innerhalb des Wagens zu entzünden, und was noch viel schlimmer ist, den Fahrdraht an der Kontaktstelle derartig zu erwärmen, dass er zunächst an Festigkeit verliert, und eventuell auch an der Kontaktstelle abschmilzt.

Die dann auftretenden Folgen sind nicht mit denjenigen Vorsichtsmassregeln zu vereinigen, welche die Sicherheitsvorschriften erreichen wollen, denn der herabfallende Fahrdraht kann mechanische und auch elektrische Störungen, welche die Sicherheit des Menschen und der elektrischen Anlagen gefährden, hervorrufen.

Die für die Bleisicherung massgebende Stromstärke muss der grossen Anfahrstromstärke gleich genommen werden. Es würden also auch die Leitungen nach den Sicherheitsvorschriften für die Anfahrstromstärke zu bemessen sein, was wiederum eine Erschwerung der Installation bedeutet, weil man nach den Erfahrungen der Praxis mit der Dimensionierung der Leitungen durch mittleren Fahrstrom auskommt. Das Anfahren des Wagens erfolgt nur immer in gewissen Zwischenräumen, sodass eine etwaige Überlastung der Leitungen durch den längere Zeit folgenden Fahrstrom und auch durch die zeitweise erfolgende Stromlosigkeit des Wagens beim Auslauf wieder ausgeglichen wird.

Es erscheint daher nicht ratsam, einmal die Bleisicherung nach den Drahtquerschnitten zu bemessen, und andrerseits die Drahtquerschnitte nach der Bleisicherung.

Ganz anders gestaltet sich das Bild, wenn man an Stelle der Bleisicherungen in Wagenstromkreisen Maximalausschalter verwendet, und wenn man ausserdem diesen Selbstausschalter, dessen Wirkung natürlich augenblicklich ist, so einrichtet, dass durch unsachgemässe Bedienung des Automaten ein Kurzschlussstromkreis nicht wieder eingeleitet, oder mehrer Sekunden unterhalten werden kann.

Man konstruiert bekanntlich den Starkstromselbstausschalter für eine etwas grössere Stromstärke als diejenige, welche beim Anfahren

des betreffenden Wagens gebraucht wird, und man muss als Anfahrstromstärke diejenige zu Grunde legen, welche an der ungünstigsten Stelle in Betracht kommt, d. h. also diejenige, welche der Wagen auf einer in Steigung gelegenen Haltestelle braucht.

Der Selbstausschalter wird nun ausspringen, sobald seine Auslösestromstärke überschritten wird, und zwar erfolgt dieses Ausspringen, wie bereits erwähnt, momentan. Es kann daher von einer Erwärmung der Kontaktstelle zwischen Fahrdraht und Wagenkontakt nicht mehr die Rede sein, und diejenigen Zufälligkeiten, welche von diesem Umstand abhängig sind, wie Nachlassen der Zugfestigkeit, Weichwerden des Fahrdrahtes und Abschmelzen des Fahrdrahtes an der Berührungsstelle, werden vermieden.

Die mit den Wagen-Automaten gemachten praktischen Erfahrungen sind günstige und vollkommene.

Es erscheint daher äusserst wichtig, dass man für den Motorstromkreis als Sicherung an Stelle der Betriebs-Bleisicherung den automatischen Ausschalter vorschreibt, da die Konstruktion durchaus zuverlässiger Apparate in einwandfreier Weise vorliegt, dagegen die Bleisicherung nach dem Vorgesagten in jedem Stromkreis entbehrlich wird, d. h. überhaupt nicht zur Funktion kommt, in welchem ein automatischer Ausschalter die momentane Unterbrechung zu hoher Stromstärken übernimmt.

Die automatischen Ausschalter müssen selbstverständlich an solchen Stellen montiert werden, wo sie dem Publikum nicht leicht erreichbar sind und auch die Funkenerscheinung beim Funktionieren nicht beunruhigend auf die Fahrgäste wirkt. Sie müssen ferner im Interesse der Durchführung eines ungehinderten Betriebes dem Wagenführer leicht erreichbar sein, sodass die Schliessung des Stromkreises nach einem durch irgend einen Zufall veranlassten Funktionieren der Apparate ohne Zeitaufwand vor sich gehen kann.

Letzteren Vorteil haben eben die Apparate gegenüber den Bleisicherungen, zu deren Ersetzung immer Zeit zum Hervorsuchen und Einsetzen neuer Streifen oder Patronen erforderlich ist, voraus, und damit gewähren sie dem Wagen stete Betriebsfähigkeit. Es empfiehlt sich daher überhaupt, die Stromzuleitung vom Stromabnehmer nach jedem Kontroller durch einen besonderen Automaten zu sichern, welcher alsdann stets vom Führerstande leicht erreichbar neben dem Kontroller angeordnet werden kann.

Hierbei sei bemerkt, dass es der neueren Technik bereits gelungen ist, auch automatische Wagen-Ausschalter zu konstruieren, welche mit einer Selbstsperrung gegen verfrühtes Einschalten, d. h. bei etwa noch bestehendem Kurzschluss, versehen sind. (Helios-Schalter.) Alle diese Umstände sprechen dafür, dass die Anwen-

dung von Bleisicherungen an Motorwagen veraltet ist und ihren Zweck nicht erfüllt und dass im Interesse der Betriebssicherheit und des Schutzes von Personen und Sachen die Vorschrift der Anbringung von automatischen Ausschaltern auf den Motorwagen dringend erforderlich ist.

Die Verwendung von Hauptbleisicherungen für z. B. die doppelte Maximalstromstärke bleibt für den Fall noch erwägenswert, wenn man dem Automaten nicht sicheres Arbeiten zutraut.

Der älteste Wagen-Automat ist der der Firma Siemens & Halske, A.-G. Dieser selbstthätige Ausschalter (D. R. P. 83 276) ist durch Fig. 471 dargestellt. Der Wagenbetriebsstrom geht über die Kohlenkontakte b und c durch d, k, h, Solenoid g zum Motor. Wächst er zu stark an, so hebt der Kern i des Solenoids den Hebel d an und der zwischen den Kohlen entstehende Lichtbogen wirkt als starker Widerstand. Bei einem plötzlichen Stromstoss wird c über die labile Gleichgewichtslage hinausgeschleudert und der Strom dauernd unterbrochen.

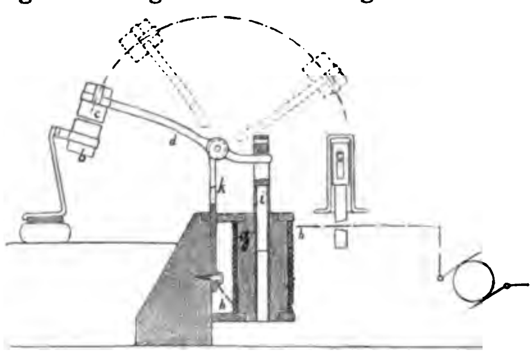


Fig. 471.

Dieser Automat ist gegen die Erschütterungen des Wagens unempfindlich und hat sich gut bewährt.

Eine Vereinigung von gewöhnlichem Handausschalter mit Wagen - Automat baut die Helios, El.-A.-Ges. Köln nach den Grundsätzen, wie auf Seite 60 ff niedergelegt sind. Die Ausführung dieser Selbstausschalter zeigt Fig. 472. Derselbe wird entweder unter dem Perrondach oder im Perronschrank angebracht.

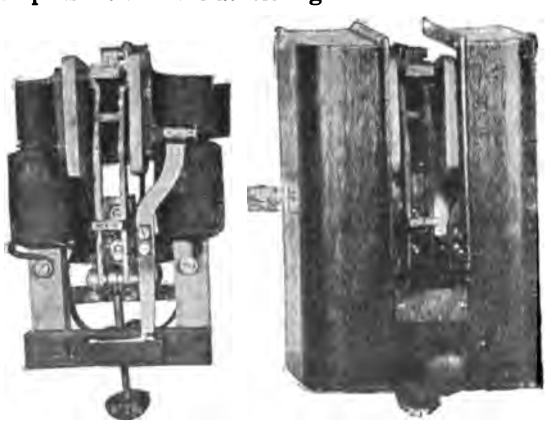


Fig. 472.

Die meisten Wagen-Automaten sind den stationären Automaten nachgebildet und zeigen keine Sonderheiten.

Zum Schutze gegen Blitzgefahr sind Blitzableiter angebracht, welche die Wageneinrichtung vor den Einflüssen der atmosphärischen Entladungen schützen und schädliche Folgen von Kurzschlüssen vermeiden. Die Lage dieser Blitzableiter auf dem Wagendach ist die denkbar günstigste, da die Wirkungen eines Blitzeinschlagens auf den Fahrgast stets beängstigend wirken und dies um so mehr der Fall ist, wenn, wie dies sonst üblich, die Blitzschutzvorrichtungen unter den Sitzplätzen oder unter dem Wagenboden montiert sind.

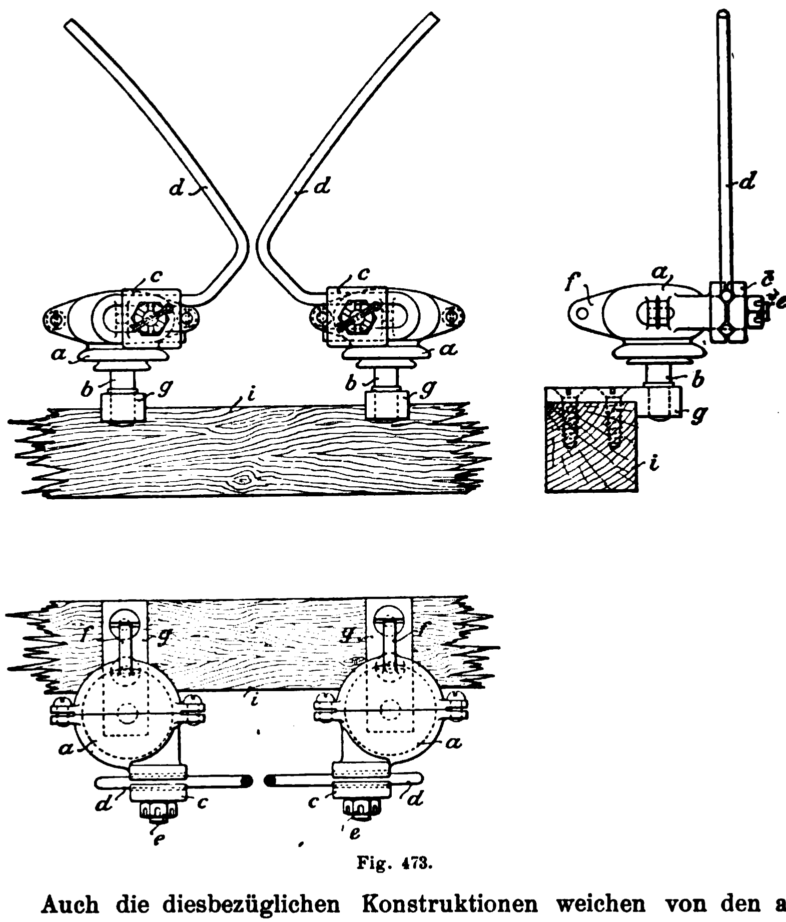


Fig. 473.

Auch die diesbezüglichen Konstruktionen weichen von den auf Seite 60 ff. gegebenen wenig ab. Fig. 473 zeigt den Wagenblitzableiter von Siemens & Halske, A.-G. Derselbe ist den Streckenblitzableitern ähnlich ausgebildet und besteht aus 2 Hörnern d, welche mittels der Klemmstücke c und der Mutterschrauben e an

Isolatoren befestigt werden. Diese bestehen aus einem mit Hartgummi umpressten Stahlbolzen b, welcher mittels des Gussstückes g auf einer parallel zur Querachse des Wagens auf dem Dache angebrachten Holzbohle i befestigt wird. Der Kopf des Isolatorbolzens trägt das zweiteilige Gehäuse a mit dem Klemmstück c und dem Anschlusslappen f, welcher zur Verbindung des Blitzableiters mit der Oberleitung bezw. mit der Erde dient.

In die Verbindung der Oberleitung mit dem Motor ist eine blanke Drahtspirale eingeschaltet, welche vermöge ihrer Selbstinduktion den Eintritt des Blitzstrahles in den Motor erschweren soll. Die Einstellung der Hörner kann an den gusseisernen Klemmen c erfolgen.

e) Vorschaltwiderstände.

Unter Hinweis auf die Bemerkungen betr. Vorschaltwiderstände im Absatz über Motorschaltungen befassen wir uns hier mit den üblich gewordenen Ausführungen, die im allgemeinen den Widerstandsformen bei den Beleuchtungs- und Kraftanlagen entsprechen.

Die zur Verwendung gelangenden Vor- und Parallelschaltwiderstände können sowohl Drahtspiralen aus Nikelin- oder Kruppin-Draht oder auch -Band sein und müssen feuerfest und kurzschlusssicher montiert sein. Flüssigkeitswiderstände sind selten, aber z. B. von A.-G. El. W. vorm. O. L. Kummer & Co. mit gutem Erfolg verwendet worden. Drahtwiderstände, unter den Sitzbänken angebracht, benutzt man zur Heizung des Wageninneren.

Um die Widerstände im Sommer nicht aus dem Wagen entfernen zu müssen, haben Siemens & Halske besondere Lüftungs-

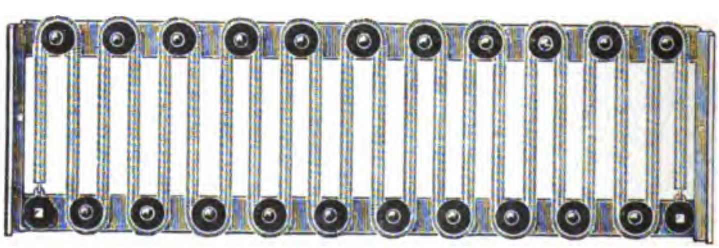


Fig. 474.

klappen im Fussboden angebracht, durch welche die warme Luft abgeführt werden kann.

Die Grundform eines Wagenwiderstandes mit Drahtspiralen ist durch Fig. 474 und 475 dargestellt. Erstere zeigt den Widerstand im unbedeckten Zustande auf einem feuerfesten Rahmen mittels isolierender Hülsen befestigt, letztere mit einem luftdurchlassenden Deckel bedeckt.

Fig. 476 zeigt einen aus Band aufgewickelten Widerstand, wie ihn die Walker Company vorbildlich geschaffen hat.

Neben den oben erwähnten Wasserwiderständen und den allgemein angewandten Metallwiderständen hat man auch Kohlenwiderstände konstruiert und deren schätzbare Vorteile würdigen gelernt.



Fig. 475.

Zu diesem Zwecke eignet sich infolge ihrer physikalischen Eigenschaften die Retortenkohle ganz vorzüglich. Im vorliegenden Falle ist die wertvollste Eigentümlichkeit der hohe spezifische Widerstand

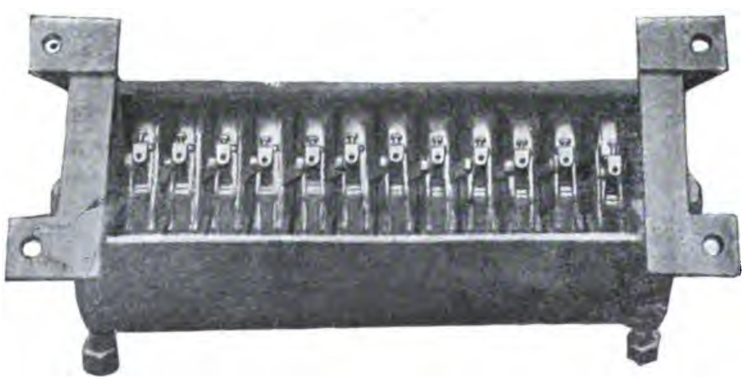


Fig. 476.

des Materiales, und folgende Zusammenstellung zeigt deutlich die Überlegenheit desselben über die metallischen Leiter:

Widerstands-Koëffizient der Kohle: 0,0075 Ohm-Centimeter.

Widerstand eines Kohlenstabes von 1 *m* Länge, 1 *qmm* Querschnitt 75 Ohm bei 0° C.

Temperatur-Koëffizient: 0,00052.

Metall	Widerstand v. 1 *m* Länge bei 1 *qmm* Querschnitt für 0° Cels. in Ohm	Temperatur-Koëffizient für 1° Cels.	Verhältnis des Widerstandes zu jenem der Kohle
Kupfer, ausgeglüht . .	0,0157	0,00387	1 : 4760
Nickel	0,1240	0,0036	1 : 600
Neusilber	0,2800	0,00036	1 : 260
Nickelin	0,31—0,42	0,0003	1 : 240 — 1 : 170
Patentnickel (von Basse & Selve)	0,31	0,0002	1 : 240
Mangannickelkupfer . .	0,45	—0,00003	1 : 160
Kruppin	0,8395	0,0007	1 : 89
Mangankupfer	0,95	0,00004	1 : 79
Kohlenstab (Sirius-Wien)	75	—0,00052	1 : 1

In vorstehender Tabelle sind die am häufigsten gebräuchlichen Metalle und Legierungen aufgenommen. Wie aus Kolonne IV ersichtlich, überragt der Widerstand eines Kohlenstabes um das 79fache jenen des Mangankupfers, mit welcher Legierung man bis jetzt den höchsten spezifischen Widerstand erreicht hat. Kolonne III enthält die Temperatur-Koëffizienten der verschiedenen Metalle.

Beim Vergleiche der einzelnen Temperatur-Koëffizienten mit jenem der Kohle ergiebt sich gleichfalls ein günstiges Resultat bezüglich der Veränderlichkeit des Widerstandes.

Bei der Konstruktion von Kohlen-Widerstandsapparaten muss die Wahl einer auch unter aussergewöhnlichen Stromverhältnissen zuverlässigen Verbindung der einzelnen Kohlen, sowie eine derartige Anordnung des ganzen Apparates, dass derselbe bei event. Stössen, Schlägen etc. keinen Schaden erleiden kann. Die einzelnen Kohlenleiter — aus technischen Gründen eignen sich am besten runde Lichtkohlen gewöhnlicher Länge — werden z. B. zwischen zwei Schieferplatten so gelagert, dass eine ungehinderte Ausdehnung des Materiales möglich ist. Die zur Hintereinanderschaltung der einzelnen Kohlen notwendigen Verbindungen erlauben gleichzeitig die genaue Einstellung des innerhalb seiner ganzen Grösse regulierbaren Widerstandes; sie sind ferner in ihrem Querschnitt und an ihren Kontaktflächen so zu bemessen, dass der Apparat ohne Schaden durch längere Zeit die doppelte Strombelastung erträgt.

Über eine analytische und graphische Methode zur Berechnung von Anfahr- und Bremswiderständen für elektrische Bahnen hat Erens-Berlin in der ETZ 1899, Heft 16, S, 277 eingehende Rechnungen zusammengestellt, desgl. ist in der ETZ 1899, Heft 2, S. 39 und Heft 3, S. 57 ein graphisches Verfahren zur Bestimmung von Fahrgeschwindigkeiten und Vorschaltwiderständen für elektrisch angetriebene Fahrzeuge von J. Neidt behandelt worden.

4. Fahrkontakt, (Wagenkontakt, Stromabnehmer).

Die verschiedenen Stromzuführungssysteme erfordern besondere Stromabnehmerkonstruktionen. Für die Unterleitung sind selbige bereits im Kapitel III, 9 mit aufgeführt; für die Oberleitung folgen

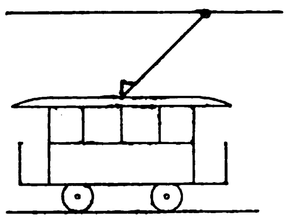


Fig. 477.

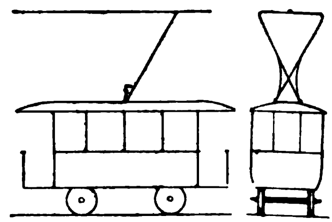


Fig. 478.

dieselben hier. Die am häufigsten vorkommenden Fahrkontakte sind die durch Fig. 477 und 478 schematisch gezeigten Systeme.

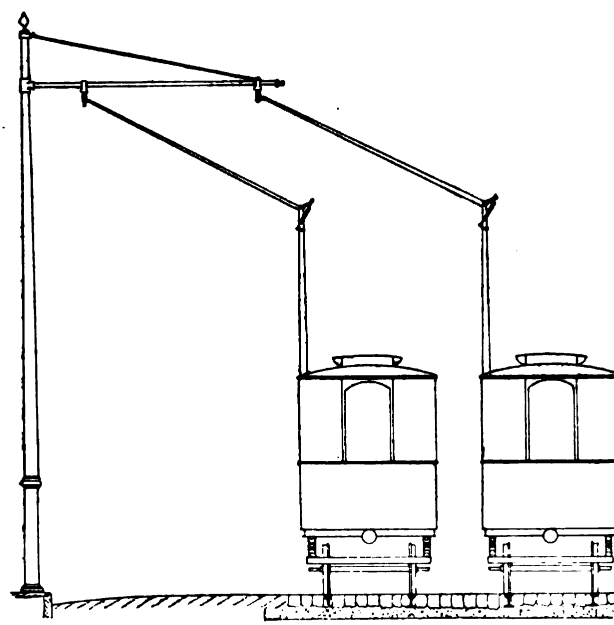


Fig. 479.

Bevor wir auf die Einzelheiten der Konstruktion übergehen, mögen noch einige Variationen der Fahrkontakte durch ihre Systeme kurz skizziert werden.

Fig. 479 zeigt schematisch eine Kontaktgebung durch eine seitlich ausladende Kontaktstange mit Rolle, wie dieselbe z. B. bei der

Staffordshire-Bahn zur Anwendung gekommen ist. (Dickinsonsystem). Hierbei ist es nicht nötig, dass der Fahrdraht sich über dem Gleise befindet, und werden Differenzen in der Seitenlage durch den Wagenkontakt vollkommen ausgeglichen.

Bei dieser Aufhängung des Fahrdrahtes muss die Rollenstange eine bedeutende Länge erhalten.

Das Dickinsonsche System der oberirdischen Stromzuführung verdankt seine Ausbildung der Forderung einer Stadtverwaltung, welche ihre schöne und altertümliche Stadt nicht durch das engmaschige Netzwerk einer Stromzuführungsanlage nach dem zentralen Rollensystem beeinträchtigen lassen wollte.

Ein bisher allerdings nur in Schrift ausgeführtes System der Kontaktgebung ist das nach seinem Erfinder genannte Jex'sche System. Hier denkt sich Jex nur stromführende Querdrähte über die Strasse gespannt und zwar so dicht aufeinander folgend, dass ein um 90° versetzter steifer Bügel, wie ihn Fig. 480 zeigt, den einen stromführenden Querdraht Q noch berührt, während er den nächsten schon berührt. Rechnet man demnach die Wagenlänge mit 6 *m* und nimmt man an, dass der Bügel vorn und hinten noch je 1 *m* übersteht, so müssten die Querdrähte mindestens alle 8 *m* aufeinander folgen. So lange man sich mit dieser Stromleitung zwischen Häusern befindet, ist das System billig, da man die Querdrähte mittels Mauerhaken oder Rosetten befestigen kann und Weichen sowie Streckenunterteilungen erübrigt. Muss man aber zur Aufbringung der Querdrähte besondere Stützpunkte, z. B. Masten aufstellen, dann dürfte die Rentabilität der Anlage doch wesentlich in Frage gestellt sein. Ausführungen nach dieser Idee sind bisher noch nicht bekannt geworden.[1])

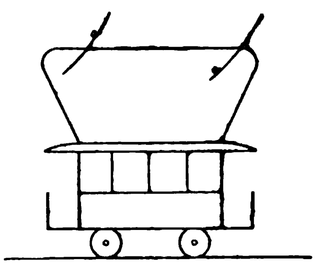


Fig. 480.

Ein ähnliches Kontaktsystem hat der französische Ingenieur Bouchet vorgeschlagen. Dieses ausserordentlich einfache System beruht auf der Anordnung, die Luftleitung in Gestalt einer stromabnehmenden Schiene auf dem Dach des Wagens selbst mitzuführen, während die in entsprechender Entfernung vorgesehenen Masten Kontaktschuhe tragen, welche mittels einer unterirdischen Leitung gespeist, den vorüberfahrenden Wagen den nötigen Strom abgeben. Die gegenseitige Entfernung der Kandelaber ist etwas geringer als

[1]) Näheres über dieses System ist in einer Broschüre veröffentlicht worden unter dem Titel: »Das patentierte Querleitersystem« von Carl Jex. Leipzig, Verlag von Grübel & Sommerlatte.

die Länge der auf dem Wagen befindlichen, stromabnehmenden Schiene, sodass letztere beständig mit einem der Kontaktschuhe in Berührung bleibt. Da nun der Abstand der Kandelaber voneinander von der Länge der stromabnehmenden Schiene abhängt und infolgedessen mehrere zusammengekuppelte Wagen erforderlich sind, um eine grössere Entfernung bezw. geringere Anzahl der Kandelaber zu ermöglichen, so ist mindestens ein Zug von zwei bis drei Wagen geboten. Der wesentliche Vorteil dieses Systems bedingt somit gleichzeitig eine Schattenseite desselben, nämlich wie bei dem Jex'schen System die Unmöglichkeit des Betriebes mit einem einzigen Wagen, was jedenfalls nur eine beschränkte Anwendung der Konstruktion gestattet.

Zur Ersparnis an Material bei doppelgleisigen elektrischen Bahnen hat Mr. John C. Henry in Denver, Col., die in Fig. 481 abge-

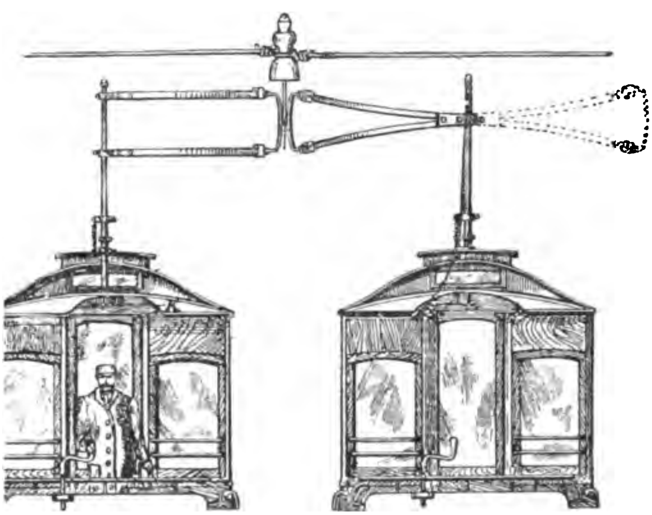


Fig. 481.

bildete Anordnung angegeben, welche es ermöglicht, mit einer oberirdischen Leitung den Strom an die Wagen auf beiden Gleisen zu leiten. Für die Erläuterung wird die Abbildung ausreichen.

Betreffs der Anwendbarkeit des Systemes kommt in Frage, dass die Zuleitung entsprechend der doppelten Zahl der versorgten Wagen entsprechend stärker sein muss als eine für die einzelne Strecke dienende Leitung, dass ferner der Fahrdraht vergleichsweise tief unter dem Isolator gelagert sein muss, um dem Kontaktbügel eine gewisse Bewegungsfreiheit zu lassen und dass Weichen und Kreuzungen schwierig auszuführen sind. Immerhin ist die Anordnung der Be-

achtung wert und es wäre zu erwägen, ob sie nicht auf kleinen Strecken, auf Schlepp- und Fabrikbahnen, gelegentlich mit Nutzen Anwendung finden könnte.

Bei Verwendung des zentralen Bügelkontaktes (Siemens & Halske, A.-G.) zieht man es vor, den Fahrdraht in langgedehnten Zickzacklinien zu verlegen, damit der Bügel in seiner ganzen Breite nach und nach zum Kontakt gelangen kann und dadurch Einkerbungen im Bügel vermieden werden. Bei Bahnübergängen mit Schlagbarrièren ist man oft gezwungen, den Fahrdraht aus der Mitte zu verlegen, weil sonst die herabschlagende Barrière diesen Draht treffen würde. Für diesen Fall muss der Fahrkontakt genügend seitliche Bewegung zulassen. Das Dickinson'sche Stromzuführungssystem erlaubt den Fahrdraht bis zu 3 *m* seitlich der Gleismitte zu montieren, wobei die Rolle eine derartige Ausweichung von der Gleisachse gestatten muss.

Die Fahrkontakte sind als Rolle am oberen Ende einer am Wagendach befestigten leichten, federnden Stange oder als Bügel eines ebenso aufgebrachten Gestelles ausgeführt.

Beide Kontaktarten drücken von unten an den Fahrdraht im Gegensatz zu den veralteten Konstruktionen, welche sich stets oberhalb des stromführenden und kontaktgebenden Drahtes hinbewegten.

Für die Kanalschleppschiffahrt hat Siemens & Halske A.-G. eine Rolle angewandt, die ähnlich der Dickinson-Rolle ist, aber oberhalb des Fahrdrahtes läuft und von der Kontaktstange geführt wird. Das Durchfahren von Weichen oder Kreuzungen ist hierbei erschwert, kommt aber in diesem Falle nicht vor.

Der Vorteil der Kontaktgebung an der unteren Seite des Fahrdrahtes zeigt sich in der Konstruktion des Tragwerkes, welches entsprechend leicht und gefällig, sowie unabhängig von der Gleisanlage herstellbar geworden ist.

Die Vorteile des Bügels als Wagenkontakt gegenüber der Rolle sind der sichere Kontakt, die Möglichkeit einfacherer Abspannungen des Fahrdrahtes und der Wegfall der Luftweichen. Nachdem durch geeignete Federung des Bügels das summende Geräusch aufgehoben worden ist, und nachdem durch Einschaltung weicher Metallüberzüge und fettschmierender Flächen die gegenseitige Abnutzung der kontaktgebenden Flächen auf ein Minimum herabgesetzt worden ist, bleibt nur noch ein Nachteil des Bügels bestehen, welchen die Rolle mitunter leichter überwindet.

Fährt z. B. eine elektrische Bahn längs einer Baumallee, so muss beim Bügel das Laub weiter ausgeschnitten werden, als bei der Rolle, vorausgesetzt, dass der Fahrdraht beide Male senkrecht über

Mitte Gleis montiert ist. Legt man den Fahrdraht soviel auf die Seite, wie es Rolle oder Bügel bei üblicher Konstruktion zulassen, so ist die Rolle noch weiter im Vorteil, weil ihr freies Profil durch Fahrdraht, Rolle und Richtung der Stange bestimmt wird, während beim Bügel stets die Breite desselben für das freie Profil massgebend bleibt.

Es liegt nun sehr nahe, dem Bügel ebenfalls eine Verschiebung aus seiner normalen Lage möglich zu machen, und hier, mit dem Bügel denselben Vorteil zu sichern. Da der Fahrdraht den Bügel seitlich nicht beeinflussen kann, wie er es bei der Rolle vermag, so muss diese Bewegung auf andere Art eingeleitet werden. Zu diesem Zwecke kann der Bügel mit seinem ganzen Federbock seitlich verschiebbar gemacht werden. Eine Sperrung muss selbstthätig in jeder Lage erfolgen können.

Die Praxis hat sowohl der Rolle als dem Bügel den Platz angewiesen, und die gegenseitigen Vorzüge und Nachteile wetteifern in ihrer Anwendung. Vom Schönheitsstandpunkte aus gebührt der zierlichen Rolle mit dem Stahlrohr entschieden der Vorzug betreffs der Erscheinung am Wagen, während die durch die zentrale Rolle bedingten Weichen- und Kurvenanlagen an der Hochleitung den guten Eindruck wieder vermindern. Der Bügelkontakt erfordert über dem Wagendach eine kompaktere Konstruktion, um Verdrehungen des Bügels vorzubeugen; dafür aber kann die Hochleitung äusserst zierlich ohne jede Weichenanlage und mit geringerer Kurvenverspannung hergestellt werden. Man sieht, dass beide Arten ihre gleichen Rechte haben.

Vom Standpunkte der Betriebssicherheit während der Fahrt gebührt dem Bügel die unbedingt grössere Sicherheit der Kontaktgebung, erstens schon dadurch, dass an Stelle des rollenden Kontaktes ein reibender Kontakt arbeitet, und zweitens dadurch, dass die Führung des Bügels am Fahrdraht eine vollkommen ungezwungene ist. Die Stösse, welche in den verschiedensten Richtungen die Kontaktvorrichtung treffen, werden durch die breite Fläche des Bügels besser aufgenommen, als durch den kurzen Zwischenraum der Rollenrille. Andererseits sind die Rollenflanschen sehr vielen Beschädigungen ausgesetzt, sodass hierdurch öfters Betriebsstörungen hervorgerufen werden.

Ein namentlich für die Betriebssicherheit ins Gewicht fallender Vorteil des Bügels ist der, dass der Kontakt zwischen dem Stromabnehmer und der Fahrleitung ohne Zuthun des Wagenführers nicht aufgehoben werden kann, was Unglücksfälle durch Entgleisen des Stromabnehmers beim Befahren grösserer Steigungen unmöglich macht. Ebensowenig ist ein Anschlagen des Stromabnehmers gegen

die Querdrähte und ein Herunterreissen der ganzen Fahrleitung undenkbar.

Eine weitere grosse Annehmlichkeit für den Betrieb und eine Entlastung des Personals liegt in der Fähigkeit der Bügelform, sich überall selbstthätig beim Wechsel der Fahrtrichtung leicht umzulegen. Der Bügel passt sich ohne jegliche Wartung allen Rangiermanövern an, was bei dem Rollensystem nicht ganz glatt von Statten geht.

Der weiteren Betrachtung unterliegt die Abnutzung des Fahrdrahtes.

Es ist vielfach die Ansicht verbreitet, dass der Bügel die Fahrleitung schneller abnutze als die Rolle, doch widersprechen dem die in Dresden gemachten Erfahrungen, die zu der Überzeugung kommen liessen, dass der Bügelkontakt den denkbar günstigsten Einfluss auf die Haltbarkeit der Fahrdrähte hat. Infolge seiner leichten Konstruktion verursacht der Schleifbügel bei Kontaktschienen aus Weichmetall oder Aluminium, welche geschmiert werden, eine äusserst geringe Reibung, und die Abnutzung erstreckt sich nur auf das Anschleifen einer Fläche auf der Unterseite des Drahtes, welche die Kontaktfläche vergrössert. Während beim Bügelsystem der Fahrdraht nur unten eine Abnutzung erfährt, geschieht dies bei der Rolle auch an den Seiten.

Der Rollenkörper wälzt sich am Draht ab, kann also durch die rollende Reibung keine Abnutzung bewirken, dagegen wird die Stromübertragung infolge der minimalen Berührungsfläche mittels kleiner Funken bewirkt, und diese können mit der Zeit den Draht angreifen. Die Rollenflanschen reiben bei allen Stössen, besonders in den Kurven an den Seiten des Fahrdrahtes, wodurch eine merkliche Abnutzung desselben festgestellt worden ist.

Die Bügelreibungsflächen werden mit Schmiernuten und weichem Metallüberzug versehen (Patent von Siemens & Halske), wodurch der Fahrdraht nicht nur nicht abgenutzt, sondern noch verstärkt wird, indem sich das weiche Bügelmetall an dem Fahrdraht festsetzt und einmal der Abnutzung eine grössere Fläche bietet und zum anderen immer soviel Metall ansetzt, wie abgeschliffen wird.



Fig. 482.

Die in Dresden seit der ersten Einführung des alten Bügels alljährlich an sehr vielen Stellen gemessene Zunahme der Abnutzung war späterhin kaum noch messbar, da die angeschliffene Fläche günstig gegen weiteren Verschleiss gewirkt hatte. Vergl. ETZ 1898, Heft 7, S. 108, Stobrawa.

Die Konstruktion des »Schmierbügels« ist im Querschnitt in der Fig. 482 dargestellt. a bedeutet die eigentliche Kontaktschiene des

Bügels, welche von dem Mantel b teilweise umgeben wird.. Der Zwischenraum kann entweder mit einem durchlässigen Stoff (Docht) ausgefüllt sein, welcher aus dem Hohlraum d flüssiges Schmiermaterial hochsaugt, oder der ganze Zwischenraum c und d ist mit konsistentem Fett gefüllt. Eine einfache Rinne aus Aluminium hat ebenfalls zweckentsprechende Anwendung gefunden.

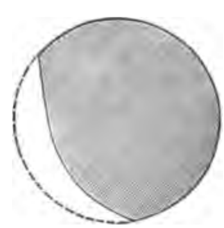
Das Geräusch, welches der schleifende Bügel früherer Konstruktion hören liess, wurde durch die Longitudinalschwingungen, in welche der Fahrdraht durch den Bügel versetzt wurde, hervorgerufen. Das von dem heutigen Bügel mitgeführte Schmiermaterial vermindert jedoch die Schwingungen des Fahrdrahtes, sodass betreffs des Geräusches die denkbar grösste Verminderung erfolgt ist.

Die gegenüber den ersten Bügelkonstruktionen vorgenommenen Verbesserungen bestehen in:

1. Anwendung eines weicheren Materials für den oberen horizontalen Teil des Bügels — die eigentliche Kontaktschiene;
2. Zwischenbringen eines Schmiermaterials zwischen diese und den Fahrdraht;
3. Verminderung des schwingenden Gewichts und verbesserte Abfederung, wodurch auch eine Verringerung des Druckes an der Kontaktstelle erzielt werden konnte.

An den Knickpunkten des Fahrdrahtes über Kurven geht durch seitliches Schleifen des Bügels die Abnutzung mitunter etwas über das obige Durchschnittsmass hinaus, trifft aber den eigentlichen Fahrdraht nicht, da die Stromabgabe hier von auswechselbaren Unterzug-Drähten desselben Materials übernommen wird, die nebenbei noch einen konstruktiven Zweck für die Abspannung erfüllen.

Der typische Querschnitt eines durch Rollenkontakt abgenutzten Fahrdrahtes wird in Fig. 483 dargestellt. Dieses Bild entsteht dadurch, dass die Rolle selten mit ihrer Grundfläche unter dem Fahrdraht dahinläuft, sondern stets die Neigung hat, mit einem Flansch an dem Draht zu scheuern. Ganz besonders tritt dies natürlich bei Kurven hervor, aber auch in der geraden Strecke, wenn der Fahrdraht nicht genau vertikal über der Gleismitte liegt, oder die Gleisoberfläche seitlich geneigt ist.


Fig. 483.

Diese Abnutzung schreitet aber stetig vorwärts, und hatte bei einer $3^1/_2$ Jahr im Betrieb befindlichen Bahn an vielen Stellen bereits den halben Querschnitt des Fahrdrahtes verschlungen. Was daher die Lebensdauer des Fahrdrahtes anlangt, so müsste dieselbe beim Bügelsystem nach den vorliegenden Erfahrungen fast unbegrenzt sein, da mit der zunehmenden Grösse der Kontaktfläche das Mass

der fortschreitenden Abnutzung geringer wird. Man nimmt zwar an, dass durch den Stromdurchgang eine Veränderung der Struktur des Kupfers allmählich eintreten und die Festigkeit des Drahtes herabsetzen wird, doch liegen Erfahrungen an Fahrdrähten nach dieser Richtung noch nicht vor.

Immerhin kann man aber rechnen, dass der Fahrdraht beim Bügelsystem mindestens doppelt so lange vorhalten wird, wie beim Rollensystem unter den gleichen Betriebsverhältnissen.

Genaue Messungen der Fahrdrähte in Dresden haben ergeben, dass durch den Bügelkontakt der Hartkupferdraht von 8 *mm* Durchmesser nach $3^1/_2$ jährigem Betrieb nur 0,3 *mm* von seinem Durchmesser verloren hat. Vergl. Fig. 484.

Die bei der Budapester Strassenbahn angestellten Beobachtungen und Messungen ergaben, dass der während einer mehr als dreijährigen Betriebsdauer bei rund 280 000 Fahrten beanspruchte Fahrdraht durch das Schleifen des Bügels eine Querschnittsverminderung von nur wenigen Prozenten erlitten hat. Ebenso ist auch die Abnutzung des Bügels eine ausserordentlich geringe. Die Dauer seiner Verwendbarkeit beträgt mehr als 32 000 Wagenkilometer. Die Gesamtkosten des Bügels einschliesslich Schmierung ergeben sich zu 0,055 Pf. für das Wagenkilometer.

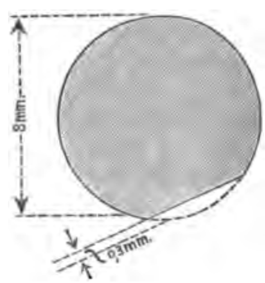


Fig. 484.

Von **Reutlinger & Harrison Branch** sind Versuche ausgeführt worden, um den Druck des Rollenkontaktes gegen die Fahrleitung zu bestimmen und die zerstörende Funkenbildung und die Nachteile, welche sie mit sich führen, zu vermeiden. Der Druck schwankte zwischen 4,2 und 13,3 *kg*, die besten Resultate wurden mit einem Druck von etwa 10 *kg* erhalten. Eine geringere Spannung erteilt dem Rollenkontakte eine zu grosse Neigung zu entgleisen und erzeugt Funken; eine stärkere Spannung erschwert die Manövrierfähigkeit. Dem Durchhang der Fahrleitung entsprechend senkt und hebt sich der Wagenkontakt. Die Druckdifferenzen, welche sich hieraus ergaben, sind keineswegs zu vernachlässigen, denn sie variierten bei den fraglichen Versuchen zwischen 1,5 und 4,5 *kg*. Der Bügel kann erfahrungsgemäss mit einem geringeren Druck, etwa 3,5 *kg* anliegen.

Die **Lebensdauer einer Kontaktrolle** rechnet man zu 5000 *km* d. h. zu 5—6 Wochen.

Dass die Rolle häufig entgleist, ist allgemein bekannt, und die Fälle, in denen durch den emporschnellenden Kontaktarm der nächste Querdraht verschoben oder aus seiner Verbindung gelöst wird, sind nicht selten.

Es ist unzweifelhaft, dass die breite Form des Bügels sich gegen ein Abgleiten vom Fahrdraht ungleich günstiger verhält, als die nur in der Hohlkehle daran geführte Rolle.

Aber selbst wenn ein Abgleiten des Bügels beim Entgleisen des Wagens oder verschobener Fahrdrahtlage eintritt, so ist dieser durch die dem leichten Stahlrohrgestell innewohnende Elastizität befähigt, am nächsten Querdraht ohne Beihilfe wieder von selbst unter die Leitung zu schlüpfen, ohne die letztere irgendwie zu beschädigen. Fig. 485 zeigt diesen Vorgang.

Auch das Umlegen des Stromabnehmers beim Wechsel der Fahrrichtung geschieht vom Bügel selbstthätig, während der Kon-

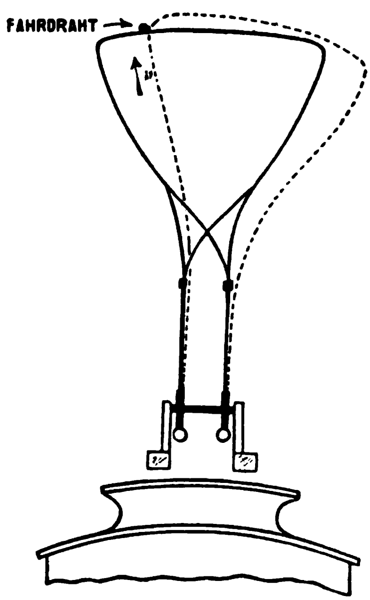


Fig. 485.

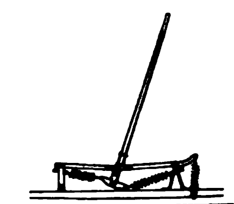


Fig. 486.

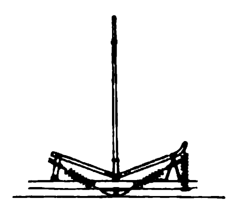


Fig. 487.

taktarm der Rolle an einem Strick vom Bedienungspersonal in einer Kreisbewegung herumgeführt werden muss, was natürlich nur beim Stillstand des Wagens ausführbar ist und bei Dunkelheit und schlechtem Wetter Schwierigkeiten verursacht.

Die Bügelgestelle sind zur Erleichterung des Umlegens mit vertikal versenkbarer Drehachse, welche durch Federn oder Gewichte ausbalanciert wird, konstruiert, wodurch gleichzeitig ein Anheben des Fahrdrahtes und ein zu starker Druck auf das leicht gebaute Gestell vermieden werden soll. Fig. 486 u. 487 zeigten die Ausführung und Wirkung des elastischen Gestelles.

Bei der **Düsseldorf-Crefelder** Bahn hat Siemens & Halske auf das elastische Untergestell verzichtet und die Drehachse festgelagert. Auch erfolgt hier die Aufrichtung des Bügels durch eine starke um die Drehungsachse gewickelte Spiralfeder.

Bei der Vorortbahn **Dresden-Kötzschenbroda** ist das Untergestell des Bügels drehbar eingerichtet, sodass der sehr lang gewählte Bügel ähnlich wie die Rollenstange umgelegt werden kann. Die richtige Vorwärts- oder Rückwärts-Lage wird durch eine selbstthätig einschnappende Klinke gewahrt.

Das **Gestell für den Kontaktbügel** besteht aus dünnen und leichten cylindrishcen Rohren. Dieselben werden zu einem

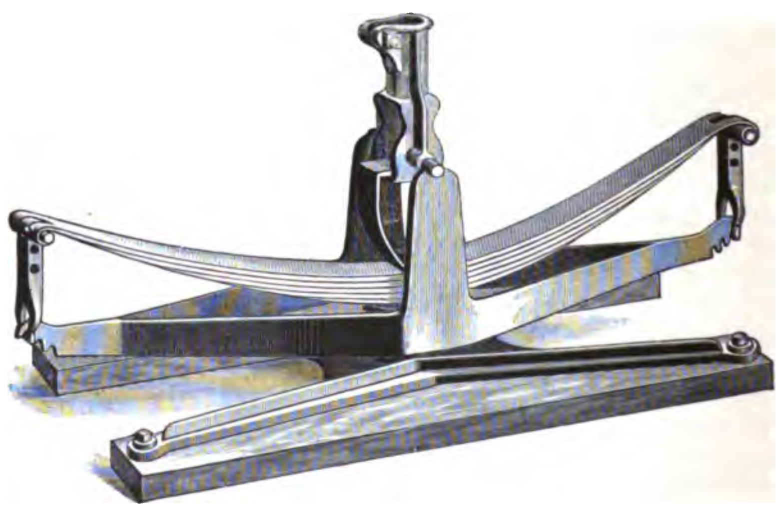


Fig. 488.

steifen Gestell zusammengelötet, welchem man den Zweck entsprechende Formen, die auch neben dem statisch richtigen, dem ästhetischen Standpunkt Rechnung tragen können.

Da auch die Überführung des Bügels bei einem Gleiswechsel ohne Anwendung besonderer Luftweichen durch einfache Abzweigung des Fahrdrahtes erfolgen kann, hat der Wagenführer nicht nötig, den Stromabnehmer irgendwie zu beobachten und kann seine ungeteilte Aufmerksamkeit dem Strassenverkehr und den Bedienungsapparaten des Wagens zuwenden.

Die Befestigung des Stromabnehmers auf dem Wagendach erfolgt mittels isoliert gelagerter Holzbalken, die wiederum mit dem eigentlichen Wagengerüst verbunden sind, wie dies Fig. 488 zeigt. Dreh-

bare Stangenuntersätze mit Federbock zeigen Fig. 489, 490, 491 und 492.

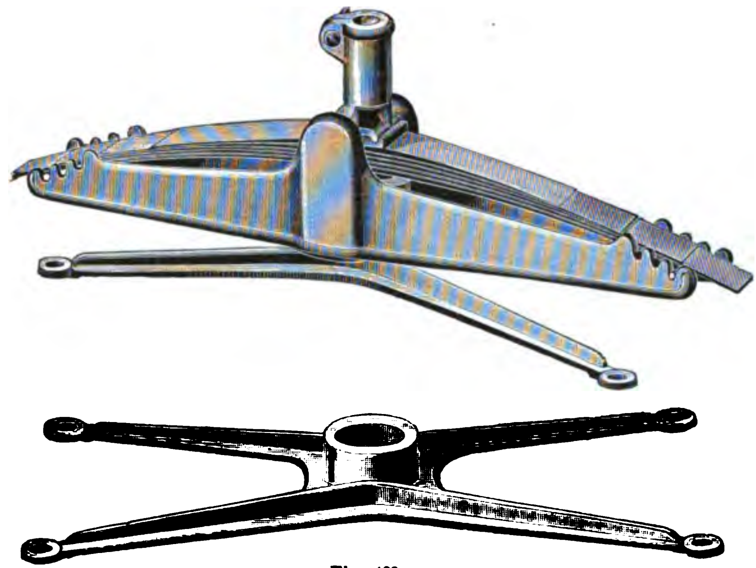


Fig. 489.

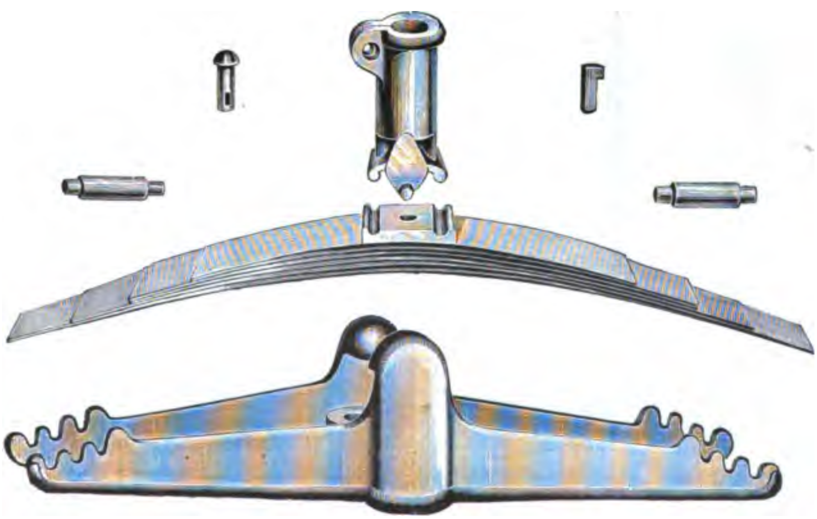


Fig. 490.

Die Rollenstange und das Bügelgestell sind meistens aus Stahlrohr hergestellt.

Eine Kontaktstange eigenartiger Konstruktion ist durch Fig. 493 dargestellt.



Fig. 491.

Fig. 494 zeigt einen Stromabnehmer, der in Form eines Gelenkvierecks ausgeführt und mit einer selbstthätigen Auslösevorrichtung versehen ist, durch welche die Stromzuführungsstange beim Ent-

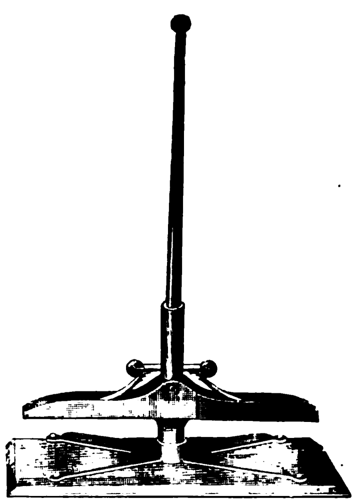


Fig. 492.



Fig. 493.

gleisen der Rolle sofort umschlägt und dadurch aus dem Bereich der Querdrähte kommt. (D. R. P. 85 590.)

Einige Konstruktionen von Rollen und Rollenkörben sind durch Fig. 495 dargestellt.

Eine sehr vollständige Sammlung von Rollenkonstruktionen giebt P. Poschenrieder in der Wiener Zeitschrift für Elektrotechnik 1897, Heft XIII und XIV.

Um die Vorteile, welche Bügel und Rolle besitzen, auszunutzen, hat man gestrebt, Rolle und Bügel zu vereinigen. Die amerikanische Firma Walker Co. in New-York hat zu diesem Zwecke den in

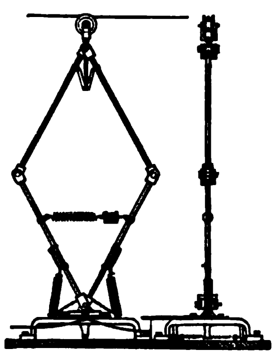


Fig. 494.



Fig. 495.

Fig. 496 dargestellten Rollenbügel konstruiert. Siemens & Halske haben die Anordnung nach Fig. 497 gewählt (D. R. P. 87 342.) Die Rolle soll hier den Kontakt in der geraden Strecke übernehmen, während der Bügel in der Kurve in Wirksamkeit tritt. Um entgleiste Rollen wieder selbstthätig einzugleisen, ist der Vorschlag gemacht worden, spiralige Nuten seitwärts der Rolle anzubringen, welche, da sie drehbar angeordnet sind, den Fahrdraht wieder der Rolle zuführen. (Fig. 498.)

Einen zweipoligen Bügel stellt der Stromabnehmer von Brown, Boveri & Co., Baden (Schweiz), (D. R. P. 100 902) in Fig. 499 dar. Der für zwei oberirdische Fahrleitungen bestimmte Abnehmer ist zweiteilig. Beide Teile sind durch Querstäbe l, l_1 verbunden; die Tragstangen m und n federn jedoch so weit, dass die Abnehmer q sich sicher gegen die Leitungen legen, wenn diese auch verschieden noch hängen.

Der Vollständigkeit halber sei noch durch Fig. 500 eine Rolle verzeichnet, welche dazu dient, im Winter den Reif von der Fahr-

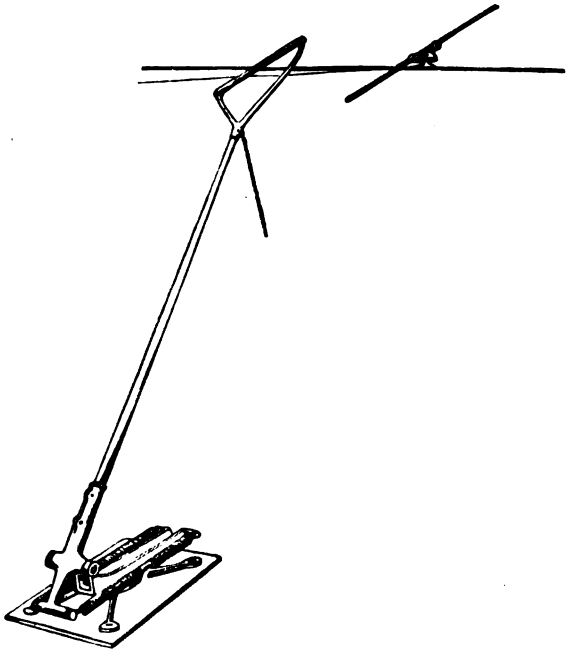


Fig. 496.

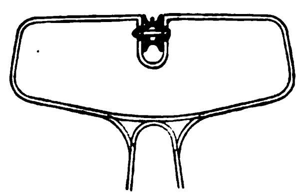


Fig. 497.

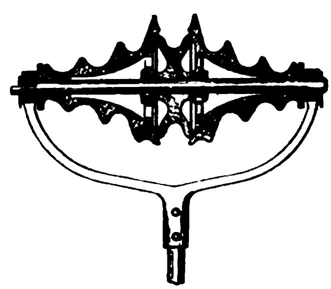


Fig. 498.

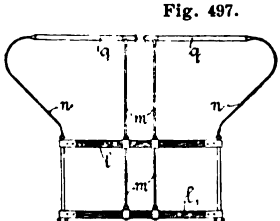


Fig. 499.

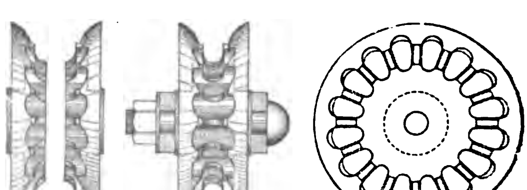


Fig. 500.

leitung abzukratzen. In Amerika ist diese Rolle vielfach angewandt worden, während in Europa mit rotierenden Drahtbürsten zu diesem Zwecke gute Erfahrungen gemacht worden sind.

Da die Kontaktrollen bei ihrem kleinen Durchmesser bedeutende Umdrehungszahlen aufweisen, macht sich eine Schmierung nötig; teils lässt man die Rolle mit einer aus Drahtwindungen bestehenden Buchse, deren Windungszwischenräume mit Graphit als Schmiermaterial ausgefüllt sind, auf einer feststehenden Achse laufen, teils verbindet man die Rolle fest mit der Welle durch Verschrauben und lässt dieselbe zweiseitig gelagert in mit Starrschmierung durch Staufferbüchsen versehenen Lagerbüchsen laufen.

Man hat behauptet, der eine oder der andere Fahrkontakt sei für grössere Geschwindigkeit geeignet, indess sollte man von einer vergleichenden maximalen Geschwindigkeit zwischen den verschiedenen Stromentnahmesystemen für Strassenbahnen, dem Bügel und der Rolle mit ihren Varianten und Kombinationen eigentlich nicht sprechen. Man könnte zwar beim Bügel die Kurven etwas rascher durchfahren, als bei der Rolle, was jedoch von keiner praktischen Bedeutung ist, da hier die Grenze nicht durch den Stromabnehmer, sondern durch die Entgleisungsgefahr des Wagens selbst gezogen wird. Stromabnehmer und Stromleitungen für Schnellbahnen, d. h. für Bahnen auf eigenem Bahnkörper müssen nach ganz anderen Grundsätzen konstruiert werden, um sie den grösseren Stromstärken und Geschwindigkeiten anzupassen. Für höchste Geschwindigkeiten von 30 *km*/St. haben weder Rolle noch Bügel irgend welche Schwächen gezeigt.

Die Rolle neigt infolge der Centrifugalkraft in den Kurven leicht zum Herausspringen. Besonders ist dies bei der Dickinson-Rolle zu beachten, wenn sie kleine Polygonwinkel an scharfen Ecken durchlaufen muss. Infolge ihres Beharrungsvermögens, die frühere Richtung beizubehalten, und infolge der vertikalen Gelenkigkeit, welche ein Richten durch Wagen und Kontaktstange illusorisch macht, ist diese Rolle dem Zufall der Kraftkomponenten überlassen, und kann deshalb leichter aus dem Fahrdraht herausgeschleudert werden.

Eine Rolle mit schrägen Flanschen ist gut zum Durchfahren von Weichen und Kreuzungen geeignet, während sie ihrer, der Fliehkraft entgegenwirkenden schrägen Seitenflächen wegen die Entgleisungsgefahr in der Kurve etwas vergrössert. Die Rolle mit geraden Flanschen kann in den ersterwähnten Fällen ihren Dienst leichter versagen, wird jedoch beim Befahren von Kurven wieder grössere Betriebssicherheit bieten. Je nachdem man nun eine Bahntrace mit viel Kurven oder viel Weichen u. s. w. hat, wird man sich zu der einen oder anderen Form entschliessen. Eine Kombination zwischen beiden Flanschformen ist möglich.

Die Kontaktstangen für die Rollen sind entweder konische oder mit Absätzen verlaufende Stahlrohre, oder bestehen aus mehreren in einander gelöteten oder genieteten Rohren mit möglichst dünner Wandung.

Mit Bezug auf das günstigste Arbeiten des Fahrkontaktes ist die Spannung der Fahrdrähte in der geraden Linie und in der Kurve möglichst straff zu halten. Die Rolle wird bei stark durchhängendem und schwankendem Draht selbst in der Geraden sehr leicht zu Entgleisungen neigen. Der Bügel erfordert infolge seiner nach oben gewölbten Kontaktschiene eine besonders straffe Fahrdrahtlage, weil bei tiefem Durchhängen der Draht von der gewölbten Bügeloberfläche leicht abgedrückt werden kann.

Am Schlusse seien die Vorschriften wiedergegeben, welche die Dresdener Stadtverwaltung als Eigentümerin der Strassenbahnstromzuführungs-Anlagen für die Strassenbahngesellschaften herausgegeben hat, und welche sich als äusserst praktisch erwiesen haben.

Vorschriften,

betreffend die Herstellung und Verwendung der auf elektrisch betriebenen Strassenbahnlinien mit oberirdischer Stromzuführung in Dresden benutzten Stromabnehmer.

1. Der Stromabnehmer muss in seinem oberen Teile die Form eines gleichschenkligen sphärischen Dreiecks mit abgerundeten Ecken haben.

Die nach oben gerichtete Grundlinie des Dreiecks muss nach Abrundung der Ecken mit 7,5 *cm* Radius noch eine Breite von 1,40 *m* haben und nach einem Radius von 2,50 *m* gekrümmt sein.

Die Höhe des Dreiecks muss ungefähr 1 *m* und der Krümmungsradius der beiden Schenkelseiten 1,40 *m* betragen.

Die Länge der auswechselbaren Kontaktschiene hat mindestens 1 *m*, nach jeder Seite der Mittellinie des Dreiecks, also mindestens 0,50 *m* zu betragen.

2. Um das Hängenbleiben des Stromabnehmers an der Leitung zu verhüten, dürfen an dessen Aussenseite irgendwelche Befestigungsteile nicht hervorstehen.

Der Stromabnahmebügel ist an dem Untergestell dergestalt zu befestigen, dass, wenn gleichwohl der Stromabnehmer an der Leitung hängen bleiben sollte, ein Herunterreissen der letzteren ausgeschlossen ist und daher eher der Stromabnehmer aus seiner Befestigung geht.

3. Die Mittellinie des unter 1 beschriebenen Dreiecks muss mit der Mittellinie des Wagens zusammenfallen, und es ist die Drehachse

so zu lagern und das ganze Bügelgestell so stabil zu machen, dass auch bei den grössten seitlichen Schwankungen des Wagens die höchste Weite der federnden Ausschlagungen des Bügels nach jeder Seite nicht über 5 *cm* beträgt.

4. Das Gewicht der Kontaktschiene darf 1 *kg* nicht überschreiten, während das Gewicht des Rohrgestelles bis zum Drehpunkte, einschliesslich der Kontaktschiene, höchstens 10 *kg* betragen darf.

5. Die Abfederung des Bügels muss so beschaffen sein, dass derselbe an einem 5 *m* über der Strassenoberfläche gespannten Leitungsdraht mit einem Druck von höchstens 3,5 *kg* anliegt.

Dieser Druck darf sich auch bei Veränderungen der Höhenlage des Fahrdrahtes in den Grenzen zwischen 4,5 *m* und 5,3 *m* nicht wesentlich ändern.

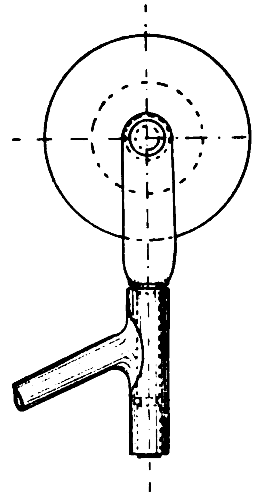
Bei Anordnung der Federung des Bügels ist darauf Bedacht zu nehmen, dass eine Funkenbildung bei Abnahme des Stromes möglichst vermieden wird.

6. Der Bügel darf beim Umlegen unter einer Leitung von 5,1 *m* Höhe diese nicht mehr als 15 *cm* aufheben.

7. Ungefähr zwei Dritttteile der im Betrieb befindlichen Kontaktschienen müssen aus einem mit Weissmetall umgossenen Messing- oder Rotgussstab bestehen, ein Dritttteil dagegen aus zusammengenieteten Aluminiumblechstreifen, deren Zwischenräume abwechselnd mit Weissmetall und Fett gefüllt sind.

Das nach seinem Erfinder benannte Dickinson'sche System ist eine oberirdische Stromzuführung mit Rollenkontakt, deren spezifisches Merkmal eine in einem Universalgelenk gelagerte Rolle ist, wie dies Fig. 501 schematisch und bildlich zeigt. Ausser der üblichen horizontalen Rollendrehachse ist der Rollenkorb mit einer vertikalen Achse am obersten Stangenende versehen. Um das obere Universalgelenk zur Geltung zu bringen, muss die Rollenstange auf dem Wagendache ebenfalls neben der üblichen horizontalen Drehachse an einer Vertikalachse drehbar aufgebaut werden, was übrigens bei der gewöhnlichen Rolle auch zulässig und üblich ist. Infolge dieser Anordnungen kann ein Ausschlag der Rolle bis zu 3 *m* nach beiden Seiten der Gleismitte erfolgen, vorausgesetzt, dass die Rollenstange entsprechend lang ist. Hieraus ergiebt sich die grosse Beweglichkeit der Stromabnehmerrolle. Durch dieses Universalgelenk wird eine schädliche Schrägstellung der Rolle gegen den Fahrdraht gänzlich vermieden, d. h. die Horizontalachse der Rolle kann niemals eine schräge Lage erhalten. Die vertikale Rollenkorbachse wird nur durch verschiedene Fahrdrahthöhen in ihrer Vertikalrichtung verändert, was aber ohne Einfluss auf die sichere Kontaktgebung

und Rollenführung ist. Fig. 502 zeigt schematisch die Anordnung des Stangengelenkes und der Rollenlagerung. Fig. 503 giebt das Schema eines Gelenkes.



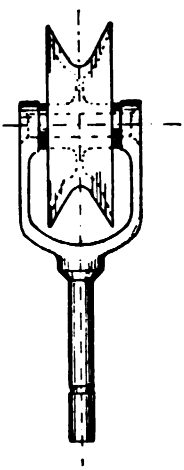




Fig. 501.

Die Forderung, die Fahrdrahtlage möglichst genau der Gleisachse anzupassen, kann man hier fallen lassen, vielmehr ist es zulässig, in den Grenzen des durch die seitliche Bewegung der Rollen-

stange gegebenen Spielraumes von der Mittellage sowohl in der graden Strecke, als auch in der Kurve abzuweichen. Naturgemäss erhält die Oberleitung in den Kurven und Weichen ein leichteres und gefälligeres Aussehen. Die bei der Rolle gewöhnlicher Konstruktion nötigen vielen Abspannpunkte fallen fort und die Peripheriewinkel des Fahrdrahtes dürfen bis zu 120° projektiert werden, sodass selbst in Kurven mit kleinem Radius die normalen Spannweiten von ungefähr 35 *m* zwischen zwei Aufhängungspunkten als Sehne des Kurvenkreises beibehalten werden können. Durch den entstehenden seitlichen Rollendruck erhält der Fahrdraht ebenfalls eine seitliche Beanspruchung, die indess ohne Bedeutung für die Festigkeit der

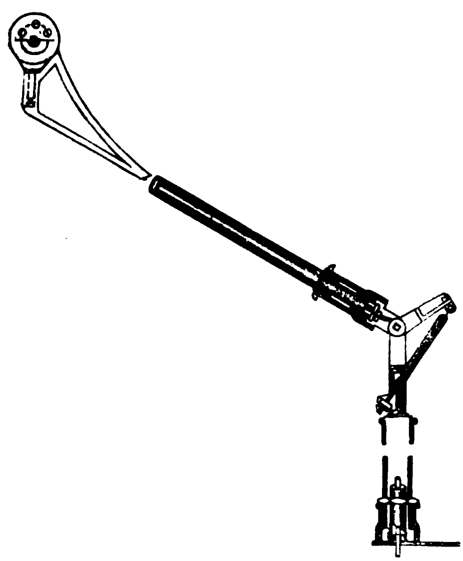


Fig. 502.



Fig. 503.

Oberleitung ist. Die Rollenflanschen selbst dürfen nicht allzu schräg sein, da sie sonst unter dem herrschenden Seitendruck nach unten abgleiten würden.

Dieses System wird immer dort Beachtung finden, wo man bei der gewöhnlichen Rolle Querdrähte zu spannen gezwungen wäre, wie z. B. bei an einer Strassenseite gelegener, zweigleisiger Strecke, weil man von der Ausführung mit einseitigen Auslegern für Doppelleitung gern absieht. Hier ist es möglich, nach dem Dickinson'schen System mit kurzen Auslegern auszukommen; es wird dadurch das Strassenbild weniger beeinträchtigt, und die Kosten der Oberleitung werden naturgemäss verringert. Da, wo man in jedem Fall Ausleger ver-

wenden würde, könnten die Auslegerarme durch die Eigentümlichkeit des Dickinson'schen Systems wesentlich verkürzt sein, was auch bei Anlagen mit Doppelauslegern von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Das Hauptanwendungsgebiet des Dickinson'schen Systems wird also besonders da sein, wo die Bahn viele Kurven befahren muss, wie es in den Strassen altertümlicher Städte und besonders der Festungen der Fall ist, welche bekanntlich infolge der durch die Festungswerke gebotenen Raumbeschränkung meist sehr eng und winklig gebaut sind.

Es ist bei der Montage der Luftweiche zu beachten, die Weiche für den Weicheneinlauf so zu hängen, dass die Stange eine mehr senkrechte Stellung zur Wagenachse einnehmen muss, und dann nicht mehr ausreicht, um auf dem falschen Draht weiterzuführen. Durch die Weiterbewegung des Wagens wird die Rolle alsdann zwangsläufig in die neue Fahrtrichtung gezogen. Beim Weichenauslauf ist die Lage der Weiche weniger wichtig. Die Anordnung der Weiche ist dabei so getroffen, dass die Erdweiche um eine gewisse Strecke vor der Luftweiche liegt. Die grösste zulässige Entfernung der beiden Weichen ist durch die Länge des Kontaktarmes im Zusammenhang mit der zulässigen Entfernung des Fahrdrahtes von der Gleismitte bestimmt. Sobald also der Wagen über die Erdweiche gefahren ist und bereits nach der vorgeschriebenen Richtung zu fahren beginnt, erhält naturgemäss der Kontaktarm eine Zugkraft in der Abweichrichtung des Wagens; die Folge davon ist, dass der Kontaktarm die Laufrolle in demselben Sinne beeinflusst. Wenn der Wagen nach rechts ausweicht und sich bereits auf dem rechten Gleis befindet, hat er die Erdweiche schon überfahren, und es liegt in der Natur der Sache, dass sowohl dem Wagen, als auch dem Kontaktarm die Neigung nach rechts erteilt ist.

Die Vorzüge des Dickinson'schen Systemes sind kurz zusammengefasst die folgenden:

1. Durch den seitlichen Ausschlag und die Drehung der Rolle und der Rollenstange um eine vertikale Achse wird erreicht, dass die Lage des Fahrdrahtes von der Gleisachse in gewissen Grenzen unabhängig ist, dass dadurch die Querabspannungen zum Teil erübrigt werden, und dass die Aufhängung des Fahrdrahtes an Auslegern stattfinden kann, welche längs des Bürgersteiges (Gangbahnen) aufgestellt werden können.
2. Aus gleichem Grunde wird die Zahl der Abspannpunkte in den Kurven vermindert, wodurch sich ein leichteres und gefälligeres Aussehen der Oberleitung und eine leichtere

Montage, also indirekt eine Verminderung der Anlagekosten ergiebt.

3. Der Fortfall besonderer Abspannungen bei Gleisreparaturen, da die weite Ausladung des Rollenarmes das Fahren des Wagens auf einem Nebengleis meist ohne Änderung der Fahrdrahtlage erlauben wird.
4. Infolge Wegfalls der Schrägstellung der Rolle in der Kurve und durch die leichte Beweglichkeit derselben um eine vertikale Achse, wird die seitliche Abnutzung des Fahrdrahtes durch die Rollenflanschen vermindert.
5. Jede beliebige Rollenleitung kann mit der Dickinson'schen Rolle befahren werden, wodurch eine sichere Kontaktgebung gewährleistet ist, wohingegen im umgekehrten Falle die steife Rolle sicher entgleisen würde.

Man kann daher das Dickinson'sche Rollensystem als das vollkommenste Rollenkontaktsystem bezeichnen und ist ihm dadurch wohl eine weite Verbreitung gesichert. Freilich darf man bei Projektierung und Montage der Oberleitungen »den Bogen nicht zu straff spannen« und die zulässigen Grenzen überschreiten.

Das Dickinson'sche Oberleitungs- und Kontaktsystem erfreut sich insbesondere in England, wo dasselbe entstanden ist, der meisten Verbreitung und gelangt hier ebenso wie neuerdings in Frankreich immer häufiger zur Anwendung.

Anwendung hat das System gefunden in South-Staffordshire bei Birmingham, Liegnitz, Thorn, Barcelona, Smichov-Košire bei Prag, Madrid, Temesvar, Fiume, Bristol, Leeds, Sheffield, Dover, Dublin, Halifax, Kidderminster, Dublon, Lucan, Bolton, Ostende, Brüssel-Terwueren, Gent, Liège-Séraing, Catania, Raincy-Montfermeil, Montmorency-Enghien, Montpellier, Chalôns s. M., Elboeuf, Paris-Asnières, Sédan.

5. Berechnung der Motorwagenleistung.

Die Fähigkeit des Elektromotors, sich in grossen Grenzen seiner Leistung zu bewegen, machen ihn besonders geeignet für den Betrieb von Fahrzeugen aller Art. Ein dem Elektromotor annähernd gleich grosses Bereich von Leistung weist nur noch das Pferd auf, welches aus diesem Grunde wohl auch nie verdrängt werden wird.

Die Anzugskraft eines Gefährtes übersteigt den dreifachen Wert der normalen Zugkraft; dieser momentanen Mehrbelastung ist sowohl der Elektromotor als auch das Pferd gewachsen, ohne Schaden an seiner Konstruktion und Beschaffenheit zu nehmen und ohne annähernd mit dem schlechten Nutzeffekt zu arbeiten, wie dies anderen Motoren eigen ist. Hierbei ist noch zu berücksichtigen,

dass der Elektromotor bei starken Leistungen auf Steigungen und Kurven, bei starkem Verkehrsandrang und Verwendung von entsprechenden Anhängewagen immer noch anwendungsfähig bleibt, wo andere Motoren längst die Konkurrenz wegen mangelhaften Nutzeffektes aufgeben mussten. Die Berechnung der Motoren selbst ist in dem vorstehenden Absch. IV 2 e behandelt worden, sodass uns hier nur noch die Berechnung der Zugkraft und Leistung des Motorwagens zu beschäftigen braucht.

Soll das Adhäsionsgewicht des Motorwagens zum Ziehen von Anhängewagen ausgenutzt werden, so interessiert es uns noch, das hierzu nötige Adhäsionsgewicht zu kennen.

Die nachstehende Formelentwickelung giebt eine einfache Übersicht hierfür.

Es bedeuten:

P = das Gewicht des beladenen Motorwagens einschliesslich der Motoren in *t*.

Q = das Gewicht des beladenen Anhängewagens in *t*.

L = Leistung des Motorwagens in P S.

z = Zugkraft des Motorwagens in *kg*.

w = Bahnwiderstand auf der Horizontalen in *kg* für die *t* (bei Strassenbahnen 10 bis 12).

$\frac{1}{n}$ = Steigungsverhältnis.

W = Bahnwiderstand auf der Steigung in *kg* für die *t* $\left(W = w + 1000 \frac{1}{n}\right)$.

V = Geschwindigkeit in *km* in der Stunde.

v = Geschwindigkeit in *m* in der Sekunde $\left(v = \frac{V}{3,6}\right)$.

a = Nutzeffekt des Motors.

f = Verhältnis des Motorwagengewichtes in *kg* zur Zugkraft in *kg* $\left(\frac{1000\,P}{z}\right)$ (bei Strassenbahnen kann man f = 7 bis 8 nehmen).

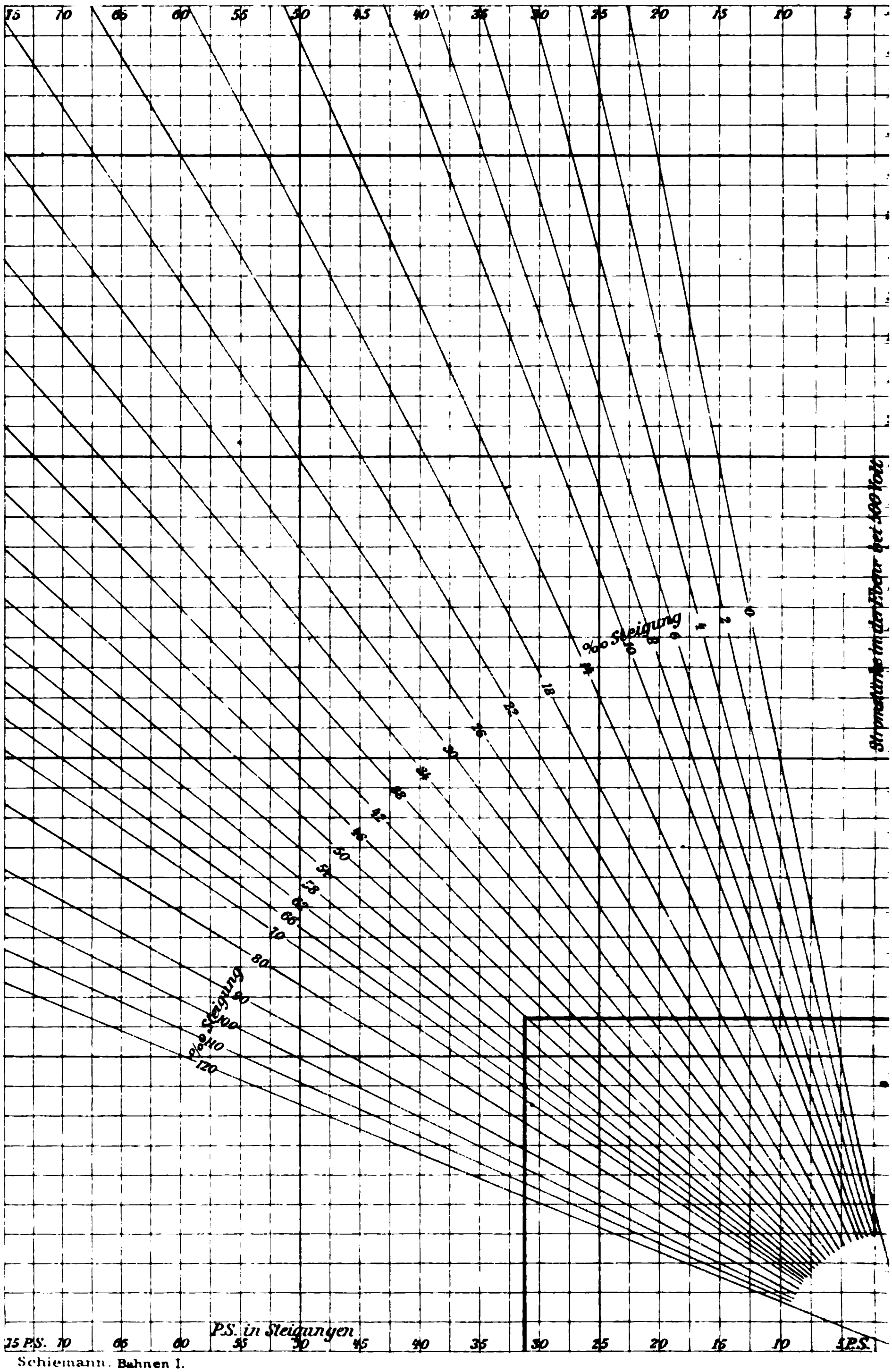
$$z = \frac{1000\,P}{f} = W \cdot (Q + P)$$

$$1000\,P = f \cdot W\,(Q + P) = f \cdot W \cdot Q + f \cdot W \cdot P.$$

$$1000\,P - f \cdot W \cdot P = f \cdot W \cdot Q$$

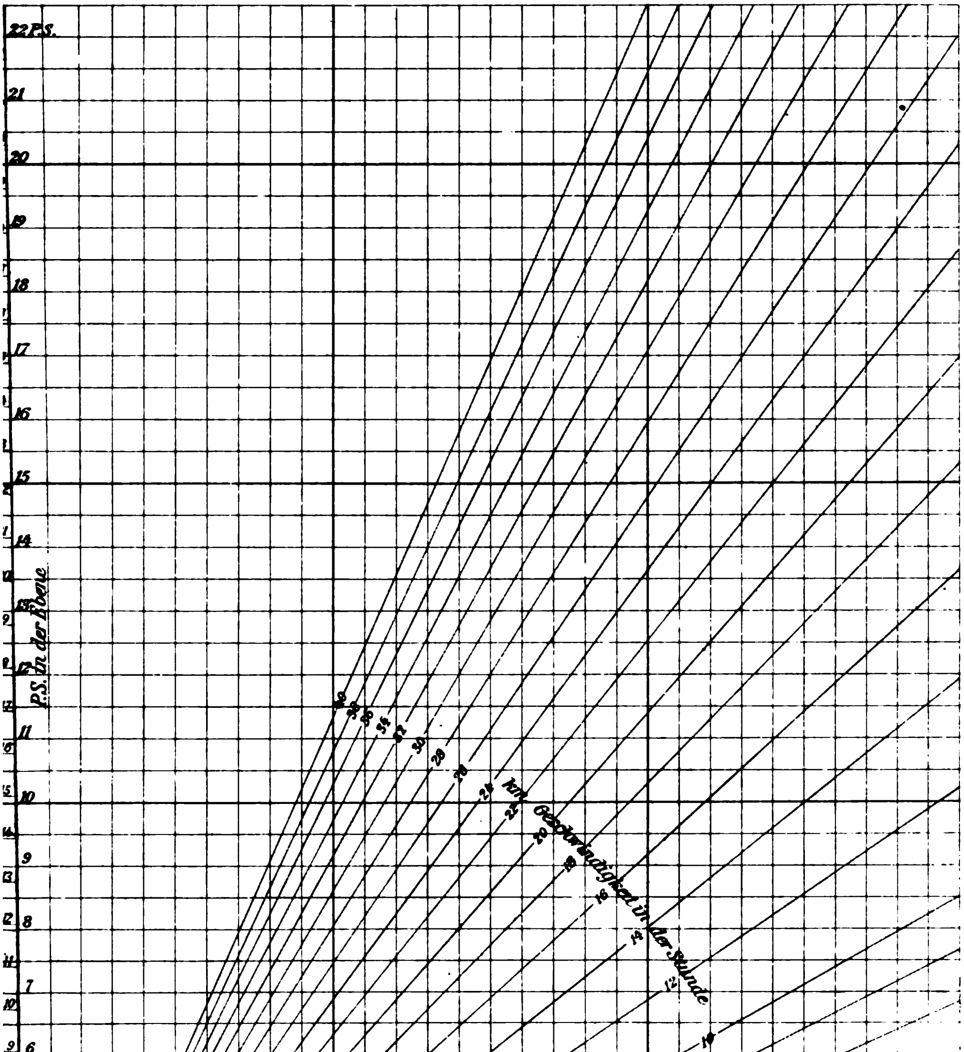
$$P(1000 - f \cdot W) = f \cdot W \cdot Q$$

$$P = \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$$ = Mindestgewicht des Motor-



Schiemann. Bahnen I.

Tafel III.



Leipzig, Oskar Leiner.

wagens, wenn derselbe einen oder mehrere Anhängewagen mit einem Gesamtgewicht = Q ziehen soll.

$$z = \frac{1000\,P}{f} = \frac{1000\,\frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}}{f} = \frac{1000}{f} \cdot \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$$

$$z = \frac{1000 \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$$

$$L = W \cdot (P + Q)\,\frac{V}{3{,}6} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{a} = \frac{W \cdot V \cdot (P + Q)}{270 \cdot a}$$

Die Leistung des Motorwagens, welche nach dieser Formel berechnet wird, hat zur Bedingung, dass der Wert für $P = \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$ erreicht wird.

Die Tafel III zeigt eine Strahlenschar, deren Werte aus obiger L-Formel berechnet sind und zwar liegen für w, a und f folgende mittlere Annahmen zu Grunde:

$$w = 11\ kg;\quad a = 0{,}72;\quad f = 8.$$

Die zu den entsprechenden Leistungen gehörenden Stromstärken sind berechnet bei 736 Watt für die P S und bei 500 Volt Betriebsspannung.

Der Gebrauch des Diagramms ergiebt sich aus folgendem Beispiel: Angenommen das Wagengewicht sei 10 *t* und die verlangte Geschwindigkeit 10 *km* in der Stunde, so geht man, wie die stärkere Linie anzeigt, von dem 10 *t*-Punkt senkrecht bis zum Schnittpunkt mit der schrägen 10 *km*-Linie. Von hier zieht man eine Wagerechte bis zum Schnittpunkte mit der mittleren Senkrechten und findet im vorliegenden Falle, dass 5,65 P S erforderlich sind, um den 10 *t*-Wagen mit 10 *km*-Geschwindigkeit in der Stunde auf ebener Bahn zu befördern. Um die Leistung auf einer Strecke mit z. B. 50 ‰ Steigung zu finden, hat man die vorerwähnte Wagerechte nur bis zum Schnittpunkt mit der betreffenden Steigungslinie zu verlängern und dann auf die Abscisse des Diagramms zu projizieren. Es ergiebt sich mithin eine Leistung von 31,3 P S.

Hierbei ist vorausgesetzt, dass der Nutzeffekt des Motors konstant bleibt, was indess nur annähernd bei Nebenschlussmotoren der Fall sein wird. Ist bei einem bestimmten Beispiel die Variation des Nutzeffektes bekannt, so werden an Stelle der Strahlen entsprechende Kurven treten.

Der innere Widerstand des Motorwagens, d. h. Lagerreibung, Zahnräderreibung, rollende Reibung auf der Laufschiene, Luftwiderstand, Schienenwiderstand hervorgerufen durch die Spur-

kränze, Kohlenbürstenreibung, Wagenkontaktreibung, kurz alles, was der fortbewegenden Kraft in der Horizontalen einen nur denkbaren Widerstand entgegensetzt, oder alles, was einer geleisteten Arbeit entsprechend in Wärme, Schwingungen u. s. w. umgesetzt wird, ist durch einen Motorwagen von 1 *m* Spur und 1,5 *m* Achsstand, bei 80 *cm* Laufrädern, bei trockenem Wetter und mässig reiner Rillenschiene dadurch festgestellt worden, dass er in einem Gefälle von 1 : 88 sich selbst überlassen wurde. Der Wagen lief von selbst an und hielt sich in gleicher Geschwindigkeit ohne weitere Beschleunigung bei der Fahrt. Somit sind $\frac{1000}{88} = 11{,}4$ *kg* für die Tonne Wagengewicht zur Überwindung obengenannter innerer Widerstände erforderlich. Setzt man nun für die Zahnräderreibung bei der Arbeit einen etwas höheren Wert ein, als beim Leerlauf, so ist mit 11,5 bis höchstens 12 *kg* der ungünstigste Mittelwert für den inneren Wagenwiderstand erreicht. In einer Kurve von 25 *m* Radius, welche im Gefälle 1 : 29 liegt, setzte sich derselbe Wagen unter denselben Verhältnissen, wie oben beschrieben, nicht von selbst in Bewegung, sondern bedurfte eines kleinen Stromstosses zum Anfahren. Alsdann nahm die Geschwindigkeit nicht zu, ein Zeichen dafür, dass die Grenze erreicht ward.

Besagtes Gefälle giebt in gerader Strecke eine Zugkraft von $\frac{1}{29} \cdot 1000 = \sim 34{,}5$ *kg* für die Tonne zurück. Von diesen 34,5 *kg* gehen für Überwindung der inneren und äusseren Wagenreibung 11,5 *kg* ab, sodass $34{,}5 - 11{,}5 = 23$ *kg* für die Tonne zur Überwindung der vermehrten Schienenreibung einer Kurve von 25 *m* Radius erforderlich ist.

In einer Kurve von 30 *m* Radius, welche im Gefälle 1 : 25 liegt, lief der Wagen unter gleichen Verhältnissen, wie vorher, mit Leichtigkeit an und erhielt sogar noch eine Beschleunigung. Durch dieses Gefälle wird eine Zugkraft von $\frac{1}{25} \cdot 1000 = 40$ *kg* für die Tonne frei. Hiervon ist wieder die innere und äussere Wagenreibung auf der Horizontalen mit 11,5 *kg* in Abzug zu bringen, sodass sich $40 - 11{,}5 = 28{,}5$ *kg* Zugkraft für die Tonne zur Überwindung der vermehrten Schienenreibung in einer Kurve von 30 *m* ergiebt. Da der Wagen noch Beschleunigung erhält, so stellt 28,5 den grösstmöglichen Wert dar.

Der Trägheitswiderstand beim Anfahren und bei Geschwindigkeitsbeschleunigung ist für alle Fälle der gleiche.

Die überschüssige Arbeit, die sowohl im Gefälle als auch beim Anhalten der Wagen als nutzlose Arbeit an den Bremsklötzen in

Wärme umgewandelt wird, muss von Fall zu Fall als Bremszuschlag bestimmt werden und ist ausser den in Rechnung zu ziehenden Faktoren auch von der Geschicklichkeit des Wagenführers abhängig.

Prof. Hermann S. Herring hat über die Verluste an elektrischer Energie, welche durch unnötiges Anhalten und Wiederingangsetzen elektrischer Strassenbahnwagen sowie durch unachtsame Handhabung des Kontrollers seitens der Wagenführer veranlasst werden, eine Reihe sorgfältiger Versuche angestellt, auf Grund deren er einige Angaben über die Grösse derselben im »American Electrician« veröffentlicht. Die Versuche wurden auf einer Strecke angestellt, an der bestimmte Haltestellen bezeichnet waren, jedoch wurde bei den einzelnen Fahrten nicht immer gleich oft angehalten und jede Fahrt unter den gleichen Bedingungen mehrere Male wiederholt. Die Belastung des Wagens bestand aus Sandsäcken und wurde jedesmal auf einer Centesimalwage festgestellt. Auf dem Wagen befand sich ein registrierendes Wattmeter von Thomson und ein Boyerscher Geschwindigkeitsmesser. Die verbrauchten Wattstunden, die Zeit, das Anhalten und die Belastung wurden für jede halbe Fahrt genau registriert. Es ergab sich, dass für ein einmaliges Anhalten und Wiederingangsetzen bei einem 7,5 *t* schweren Wagen, je nach der Steigung der Strecke und der Belastung des Wagens, 75—100 oder im Mittel für gewöhnliche Verhältnisse 85 Wattstunden erforderlich waren. Unter Zugrundelegung eines Strompreises von 4 Pf. (ein ausserordentlich niedriger Preis!) f. d. Kilowattstunde würden die Kosten für ein einmaliges Anhalten 0,34 Pf. betragen. Nimmt man an, dass auf einer Strecke, auf welcher täglich 15 Wagen verkehren, jeder Wagen 15 Fahrten am Tag macht, so würde, falls jeder Wagen während einer Fahrt nur ein einziges Mal unnötig anhielte, dies eine Extraausgabe von 280 Mark im Jahr oder bei 100 Wagen unter den gleichen Bedingungen eine solche von rund 1865 Mark erfordern, wobei die Abnutzung der Räder, Bremsen u. s. w. noch nicht gerechnet ist. Man kann hiernach leicht die Ersparnis berechnen, welche auf einer gegebenen Strecke bei vorgeschriebener Geschwindigkeit des Wagens durch ein weniger häufiges Anhalten gemacht wird. Bei einem gewöhnlichen 7,5 *t*-Wagen mit mittlerer Belastung beträgt die Zahl der für das Wagenkilometer erforderlichen Kilowattstunden, wie Prof. Herring aus zahlreichen Versuchen feststellte, im Mittel 0,875, wenn auf jedem Streckenkilometer im Mittel 5-mal angehalten wird und die mittlere Geschwindigkeit 16 *km* i. d. Stunde beträgt. Bei einer 8 *km* langen Strecke ergeben sich somit bei 16 *km* stündlicher Geschwindigkeit und 60-maligem Anhalten 8,7 Kilowattstunden als Betrag der erforderlichen elektrischen Arbeit. Bei nur

30 maligem Anhalten des Wagens würden 30 · 85 = 2550 Wattstunden gespart werden, sodass für die ganze Strecke nur 8,7—2,55 = 6,15 Kilowattstunden erforderlich wären, was einer Ersparnis von etwa 29 % entspricht. Natürlich kann man im Interesse des Verkehrs nicht unter eine gewisse Zahl von Haltestellen hinuntergehen; indessen muss jedes unnötige Anhalten vermieden werden.

Sehr erhebliche Verluste können durch unachtsame Handhabung des Kontrollers seitens des Fahrpersonals entstehen. In dieser Beziehung wurden von Prof. Herring ebenfalls Versuche mit verschiedenen Wagenführern angestellt. Dem einen wurde eingeschärft, die lebendige Kraft des Wagens möglichst auszunutzen und die Bremsen so wenig wie möglich zu gebrauchen, der andere, dessen Geschicklichkeit in der Führung des Wagens etwa dem Durchschnitt des Fahrpersonals entsprach, sollte den Kontroller in der gewohnten Weise hantieren. Im Übrigen waren die Fahrbedingungen in beiden Fällen genau dieselben, indem dieselbe Strecke in gleicher Zeit durchfahren, derselbe Wagen und dieselbe Belastung benutzt wurde und die gleiche Zahl von Haltestellen vorgeschrieben war. Der achtsamere Wagenführer brauchte nur etwa 80 % der Kilowattstunden, welche der andere brauchte, es bestand also ein Unterschied von 20 % zwischen beiden. Jedenfalls lässt sich durch sorgsame Handhabung des Kontrollers leicht eine Ersparnis von 10 % erreichen. Nimmt man dies an und rechnet man den Stromverbrauch auf einer 10 *km* langen, von 15 Wagen je 15 Mal täglich mit einer Geschwindigkeit von 16 *km* stündlich durchfahrenen Strecke zu 875 Wattstunden f. d. Wagenkilometer (allerdings eine sehr hohe Zahl), so würde eine Ersparnis von 10 % bei 4 Pf. f. d. Kilowattstunde 3,5 Pf. für jeden Wagen und jede Fahrt oder 52,5 Pf. f. d. Wagen täglich = rund 190 M. jährlich, also bei 15 Wagen 2850 M. betragen, was bei 4 % der Verzinsung eines Kapitals von mehr als 70 000 M. entspricht. Diese Zahlen lassen erkennen, wie wichtig eine gute Schulung des Fahrpersonals bei elektrischen Strassenbahnen ist. Die meisten Wagenführer brauchen zur Fahrt unzweifelhaft mehr elektrische Energie, als unter den jeweils gegebenen Verhältnissen unbedingt notwendig wäre. Man sieht häufig, dass die Fahrer den Wagen bis kurz vor der Haltestelle mit voller Geschwindigkeit laufen lassen und dann denselben durch gewaltsames Anziehen der Bremsen auf Wagenlänge zum Stehen bringen, wodurch die grosse dem Wagen innewohnende kinetische Energie nutzlos vergeudet wird. Beim Abwärtsfahren auf geneigter Bahn lassen sie ebenfalls den Strom viel länger eingeschaltet, als nötig wäre, um dem Wagen die erforderliche Anlaufskraft zu geben. Oft wird der Strom eingeschaltet, ehe die Bremsen gelöst sind, oder die Bremsen werden angezogen, ehe der Strom ausgeschaltet ist.

Obwohl die dadurch entstehenden Verluste an elektrischer Arbeit im einzelnen Falle gering sind, summieren sie sich doch zu sehr erheblichen Mengen, umsomehr als sie beinahe fortwährend stattfinden.

Dass es von grosser Wichtigkeit ist, die lebendige Kraft des Wagens nach Möglichkeit auszunutzen und den Wagen so viel als irgend möglich von selbst laufen zu lassen, ergiebt sich aus folgendem: Die in dem Wagen aufgespeicherte kinetische Energie ist sehr beträchtlich. Ein gewöhnlicher amerikanischer, für eingleisige Strecken benutzter Strassenbahnwagen, welcher mit Fahrgästen etwa 8,6 *t* wiegt und einen Traktionskoëffizienten von 5,44 *kg* f. d. Tonne besitzt, würde zur Fortbewegung einen horizontalen Zug von 46,7 *kg* erfordern. Bei einer Geschwindigkeit von 16 *km* i. d. Stunde würde die kinetische Energie 7955 *mkg* betragen, und diese würde den Wagen theoretisch 170 *m*, praktisch aber wahrscheinlich ca. 90 bis 100 *m* auf horizontaler Bahn weiter bewegen können. Auf einer 150 *m* langen Steigung von 3 % beträgt am höchsten Punkte derselben die im Wagen aufgespeicherte potentielle Energie etwa 35 695 *mkg*. Beim Abwärtsfahren auf derselben Strecke wird auf den Wagen eine Kraft von 234 *kg* ausgeübt, welche gleich der Komponente des Gewichts des Wagens längs des Abhanges ist. Zieht man hiervon die zur Überwindung der Reibung erforderliche Zugkraft von 46,7 *kg* ab, so bleibt eine Kraft von rd. 187 *kg* übrig, welche entweder eine beschleunigte Bewegung des Wagens hervorbringt, oder in den Bremsen vergeudet wird. Die zur Abwärtsbewegung des Wagens erforderliche Energie ist das Produkt Reibung $\times$ Länge der geneigten Bahn $= 46{,}7 \times 150 = 7005$ *mkg* und diese von der am höchsten Punkte erreichten potentiellen Energie von 35 695 *mkg* subtrahiert ergiebt als Betrag der kinetischen Energie, welche der am Fusse des Abhanges angelangte Wagen aufgespeichert hat, 28 690 *mkg*. Dabei würde der Wagen eine Geschwindigkeit von rd. 44,5 *km* erreicht haben und diese würde genügen, um den Wagen auf horizontaler Bahn noch 600 m weiter zu treiben. Thatsächlich ist diese Zahl infolge des vermehrten Winddruckes und anderer Umstände zu gross, rechnet man aber nur 50 % derselben, so würde die Strecke, welche der Wagen infolge der beim Aufwärtsfahren in sich aufgenommenen potentiellen Energie durchlaufen könnte, doch dreimal so gross sein, als die Länge der Steigung, d. h. 450 *m*. Obwohl es in Wirklichkeit unmöglich ist, unter solchen idealen Verhältnissen zu fahren, so ergiebt sich aus diesen Erwägungen doch, wie ausserordentlich wichtig es für einen rationellen Bahnbetrieb ist, dass dem Wagen innewohnende Bewegungsmoment thunlichst auszunutzen.

Dr. Max Corsepius hat über »Grundlagen für die Berechnung und den Bau elektrischer Bahnen« (Stuttgart 1896, Verlag von

Ferdinand Enke) eine Broschüre erscheinen lassen, woselbst über die Arbeitsgrössen am Motorwagen und im Bahnkraftwerke eingehende Berechnungen aufgestellt sind; desgl. hat Schröder in der ETZ 1899, Heft 5, Berechnungen des Kraftbedarfes von elektrischen Strassenbahnen veröffentlicht, auf welche beiderseits hingewiesen werden kann.

Eine interessante Ergänzung und Bestätigung obiger Annahmen und Angaben hat Mr. Parshall gelegentlich eines Vortrages gegebracht. Nach seinen Erfahrungen und Messungen wächst der Energie-Verbrauch im geraden Verhältnis zur Anzahl der Haltestellen und der Wattstundenverbrauch für das Wagenkilometer bleibt für weite Geschwindigkeitsgrenzen der gleiche. Es lässt sich daher die Schlussfolgerung ziehen, dass der Wattverbrauch proportional mit der Zahl der Wagenkilometer wächst, d. h. also, die schnellere Fahrt kostet nicht mehr als die langsamere.

Unter Anwendung des Verfahrens der Motorumschaltung auf Reihe oder parallel kann man bei Anfahren etwa einen Zug von 27 *kg* an der Peripherie des Rades für je 1 Amp. rechnen. Mit 50 Amp., die eine Zugkraft von 1350 *kg* erzeugten, könne man unter gewöhnlichen Umständen eine Beschleunigung von 0,61 *m* in der Sekunde erzielen, was in den meisten Fällen genügen würde.

Das gedachte Verfahren erfordere zweckmässig zwei Motoren, wenn die Haltestellen häufig seien; werde seltener angehalten, etwa nach je 1 *km*, dann wende man besser einen einzelnen Motor mit Schaltwiderstand an.

6. Stationswiderstand.

Ehe die Betriebsmaschinen des Bahnkraftwerkes dem Betriebe übergeben werden, macht sich zur Feststellung ihrer Leistung eine Arbeitsbremsung für mehrere Stunden oder Tage notwendig. Gewöhnlich wird ein 6 — 12 stündiger Versuch mit konstanter Belastung vorgenommen, um den Dampfverbrauch, die zulässige Maximalleistung und den Nutzeffekt der Dampfdynamo bei normaler Leistung festzustellen, bevor die Maschine dem Lieferanten abgenommen wird.

Da das Bremsen grösserer Dampfmaschinen mit dem Pronyschen Zaum[1]) Schwierigkeiten verursacht, wird man das bequemere Mittel der Messung der elektrischen Energie, welche von der angetriebenen Dynamomaschine erzeugt wird, vorziehen, zumal es sich stets um die Untersuchung des ganzen Maschinenaggregates (Dampf-

[1]) Über eine verbesserte Federwage für Bremsungen mit dem Prony'schen Zaum, siehe ETZ 1898, Heft 39, S. 658.

maschine + Dynamomaschine) handelt. Die Stromabgabe in das Leitungsnetz wird meist zu schwankend sein, um als konstante Belastung gelten zu können, sodass man genötigt sein wird, in besonderen Belastungswiderständen die elektrische Energie zu vernichten.

Widerstände von Drahtspiralen oder Metallbänder aus Nikelin, Kruppin oder Eisen werden auch in eigener Werkstatt schwierig und teuer herzustellen sein. Man geht dann gern zu dem einfachen Mittel über, den Strom in Wasser zu leiten und darin die Arbeit in Wärme oder chemische Energie umzusetzen.

Die Flüssigkeit in einem Wasser-Widerstand ist Wasser, dem zur Änderung seines spezifischen Widerstandes Säure, meist Schwefelsäure, zugesetzt werden kann.

Da durch verschiedene Mischungsverhältnisse ein Widerstand von 0,1 bis 1000 und mehr Ohm erzielt werden kann, hat man es in der Hand, für jede Spannung und Stromstärke den passenden Widerstand herzustellen.

Ein Wasserwiderstand kann aus jedem beliebigen Gefäss, wie man es gerade zur Hand hat, etwa einem Fass, Eimer etc. hergestellt werden.

In dieses lässt man zwei Platten eintauchen, die zur Vermeidung elektrolytischer Vorgänge aus dem gleichen Metall hergestellt sind. An diesen befestigt man die stromführenden Drähte. Die Form dieser Elektroden ist abhängig von der Stromstärke und teilweise auch von der Spannung.

Mit starken Strömen, oder mit sehr geringer Spannung, oder mit beiden zugleich, müssen die Platten eine grosse Oberfläche haben und umgekehrt.

Wird der Apparat nur für einige Augenblicke benutzt und ist die Spannung gering, so kann man ein Metallgefäss benützen; das Gefäss selbst bildet dann die eine Elektrode, während die andere darin herabhängt. Der Widerstand wird durch allmähliches Eintauchen der herabhängenden Platte vermindert, bis sie den Boden des Gefässes berührt, wodurch der Widerstand natürlich ausgeschaltet wird.

Ein Wasser-Widerstand muss entweder durch Veränderung des Abstandes zwischen den Elektroden oder vermehrtes, beziehungsweise vermindertes Eintauchen derselben variiert werden.

Erstere Methode ist bei starken, letztere bei schwachen Strömen anzuwenden. Die Flüssigkeitsmenge hängt von der zu absorbierenden elektrischen Energie ab. Bei gleichmässiger Belastung ohne plötzliche Stromschwankungen werden 20 Kilowatt auf ein 100-Kilofass verbraucht.

Die beste Methode, eine Wassertonne als Widerstand herzurichten, ist die, quer durch die Tonnendeckel Schienen zu legen und die Elektroden daran herabhängen zu lassen. Die Schienen können so angeordnet sein, dass sie die Regulierung des Abstandes zwischen den Platten gestatten. Sollte ein Träger zerbrechen, kann keine Störung durch Kurzschluss entstehen.

Bei Anwendung eines Wasserwiderstandes mit Säure muss die Säure schnell hineingeschüttet und die Flüssigkeit gut durchgerührt werden.

Man bestimmt die Säuremenge meist durch ein Experiment. Als ungefährer Anhaltspunkt möge folgende Tabelle dienen:

Widerstand eines Flüssigkeitskörpers von 0,092 *qm* Querschnitt und 0.304 *m* Länge.

Reines Wasser	etwa	100 Ohm.
0,174 % Säure	»	4,12 »
0,435 » »	»	1,75 »
0,724 » »	»	1,10 »
0,985 » »	»	0,85 »

Das Säureverhältnis würde genügen, um durch die Lösung etwa $^1/_3$ der in Frage kommenden Energie aufzehren zu lassen. Der Rest kann bequem durch Regulierung der Elektrodenplatten erlangt werden.

Stobrawa giebt folgende äusserst einfache und praktisch gut bewährte Anordnung an, welche in der Fig. 504 veranschaulicht wird.

Bei der Konstruktion dieses Wasserwiderstandes hat man zu beachten, dass die Stromstärke ausser von der gegenseitigen Entfernung der Pole, von der eingetauchten Fläche derselben und der Leitungsfähigkeit der dazwischen befindlichen Wasserschicht abhängig ist.

Da das Wasser durch eingeleiteten Strom erwärmt und seine Leitungsfähigkeit erhöht wird, ist zur Erzielung eines gleichbleibenden Widerstandes auch die Einhaltung einer konstanten Temperatur und Zusammensetzung der Flüssigkeitsschicht, also deren ständige Erneuerung erforderlich.

Diese Bedingung ist mit Wasser, welches einen Zusatz von Säure zur Erhöhung seiner Leitungsfähigkeit erhalten hat, sehr schwierig durchzuführen.

Der für gewöhnliches Leitungs-, Fluss- und Brunnenwasser mit einfachen Mitteln hergestellte Apparat, welcher wiederholt für Maschinenleistungen bis 650 effektive P S, d. i. 800 Amp. bei 570 Volt, zur Anwendung gekommen ist, hat bei Dauerversuchen ausgezeichnet funktioniert.

Von einer Anzahl leerer Ölfässer (für je 100 Amp. ein Fass) wird der obere Boden entfernt, die Fässer gut gereinigt und in einer

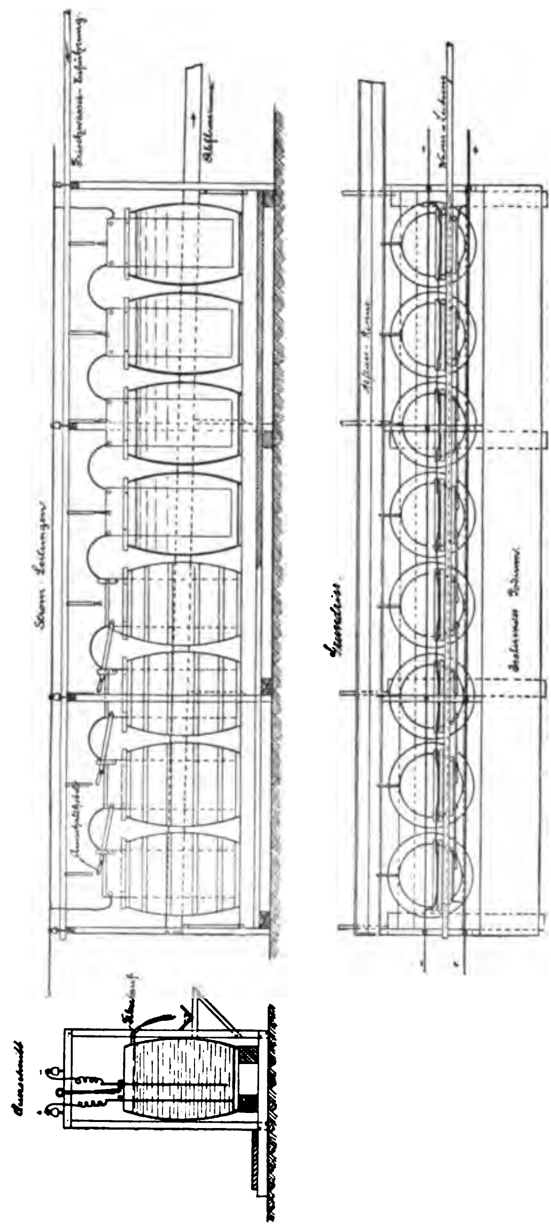


Fig. 504.

Reihe auf Holzunterlage gestellt. In jedes Fass werden zwei Eisenblechplatten von 3—4 *mm* Dicke als Polplatten gehängt und reihenweise mit den Stromzuleitungen verbunden. Während die eine Reihe der Eisenplatten durch eine gemeinsame über alle Fässer hingehende Latte in diesen feststehend gemacht wird, ist in der anderen Reihe jede Platte für sich verschiebbar angeordnet, um in jedem Fass besonders den Abstand der Platten und damit die Stromstärke regulieren zu können. Die verschiebbaren Platten sind miteinander durch angeschraubte Leitungen verbunden, die elektrische Verbindung der feststehenden Platten geschieht jedoch durch Hebeleinschalter aus Flacheisen. Die letztere Einrichtung dient zur beliebigen Ab- und Zuschaltung der Fässer und eignet sich besonders gut zur plötzlichen Ent- und Belastung der Maschine bei der Prüfung der Güte ihrer Regulierung. Über den Fässern befinden sich, von einem Holzgestell getragen, die auf Isolatoren oder als Kabel verlegten Stromzuleitungen, sowie ein mit der Wasserleitung verbundenes Rohr, aus welchem jedes Fass durch einen engen Stutzen konstanten Zufluss erhält. Eine gemeinsame Rinne nimmt das aus den Ablaufstutzen der Fässer abfliessende heisse Wasser auf, um es der Kanalisation zuzuführen.

Für eine Betriebsspannung von 550 Volt mussten zur Erreichung einer Stromstärke von 100 Amp. für jedes Fass die Eisenplatten von je $^1/_8$ *qm* eingetauchter einseitiger Fläche etwa 12 *cm* nahe aneinandergerückt werden. Diese Entfernung ändert sich mit der Beschaffenheit des zugeführten Wassers und gilt in dem angegebenen Falle für gutes städtisches Leitungswasser.

Es hat sich ferner herausgestellt, dass eine gleichbleibende Belastung erzielt wurde, wenn das mit etwa 9° Wärme zugeführte Wasser mit ungefähr 85° Wärme wieder abfloss; ist dieser Beharrungszustand einmal erreicht, so braucht man stundenlang keine Verschiebung der Platten oder Änderung des Zuflusses mehr vorzunehmen.

Die elektrische Energie wird bei Zuführung reinen Wassers hauptsächlich nur in Wärme umgesetzt, sodass die Eisenplatten, zumal wenn dieselben noch die vom Walzen herrührende Oxydschicht (die Walzhaut) haben, auch in längeren Versuchen sehr wenig angegriffen werden. Beim Vorhandensein von Salzen oder Säuren im Wasser tritt jedoch auch Elektrolyse auf, zerstört die Platten und verursacht Überkochen der Fässer, oder bei zu grossem Stromdurchgang leicht Kurzschluss.

Da das heisse Wasser stark verdunstet, empfiehlt es sich, den Apparat ausserhalb des Maschinenhauses im Freien aufzustellen, zumal derselbe gegen Regen und atmosphärische Einflüsse unempfind-

lich ist. Nach Beendigung des Versuches thut man gut, die Eisenplatten herauszunehmen, zu reinigen und trocken aufzubewahren, während die Fässer, mit Wasser gefüllt, sich am besten bis zur nächsten Ingebrauchnahme, die für obigen Zweck bei der stetigen Vergrösserung der Maschinenanlagen für Bahnkraftwerke nicht lange auf sich warten lässt, dauernd dicht erhalten.

In Bakersfield, Cal., wurde ein Satz Girard-Turbinen, welcher mit einer 450 Kw Dreiphasen-Dynamomaschine von 500 Volt gekuppelt war, mit Hilfe eines solchen Wasserwiderstandes geprüft. Diese Widerstände bestanden aus drei Rotholzkästen von je 1, $2 \times 1{,}2 \times 1{,}8$ *m*. Ein jeder derselben erhielt zwei Eisenblech-Elektroden, die mit allseitigem Abstand von 125 *cm* von den Kastenwänden angebracht waren. Drei Elektroden, je eine aus jedem Kasten, waren kurz miteinander geschlossen, während die drei anderen mit je einer der drei Zuleitungen von der Maschine verbunden waren. Zwischen je zwei Leitungen lag demgemäss einer der Widerstände, welcher somit 150 Kw. aufzunehmen hatte. Die Belastung jedes Widerstandes wurde durch Veränderung der Entfernung der Elektroden in dem betreffenden Kasten geregelt.

Zur Erhöhung der Leitungsfähigkeit des Wassers wurde demselben schwefelsaures Natron beigegeben, welches vor dem ebenfalls verwendbaren Kochsalz den Vorzug hat, dass die Erhöhung der Leitungsfähigkeit mit steigender Temperatur bei jenem geringer ist als bei letzterem. In dem vorliegenden Falle war der Zusatz von Natriumsulfat so gut abgemessen, dass die Widerstände für drei und mehr Stunden 500 P S aufnehmen konnten, ohne dass die Flüssigkeit zum Sieden kam.

Ein solcher ähnlicher Wasserwiderstand wurde gelegentlich von der Pioneer Electric Power Co. bei ihrer Kraftübertragungsanlage benutzt. Die Anordnung desselben war grundsätzlich die gleiche wie bei dem oben beschriebenen Widerstand in Bakersfield, nur dass die Holzkästen 2,4 *m* lang, 1,2 *m* breit und 0,9 *m* tief waren und auf drei grossen Porzellanisolatoren (Doppelglocken) standen. Die Elektroden bestandenaus 9,5 *mm* Stahlblech mit 25 *cm* Abstand von den Kastenwänden. Jeder Einzelwiderstand hatte 250 Kw. bei 2300 Volt aufzunehmen, also erheblich mehr als im vorigen Falle.

Ein sehr wesentlicher Punkt in der Benutzung dieser Wasserwiderstände liegt in der Anwendung einer andauernden Wasserzirkulation in den Kästen, damit die Temperatur des Wassers thunlichst niedrig und gleichmässig gehalten wird, und auch zu dem Behufe, dass die Wasserstoff- und Sauerstoffbläschen, welche sich an den Elektroden ansetzen und den Übergangswiderstand erhöhen, fortgespült werden. Für diese Spülung führt man das frische Wasser

durch einen Schlauch, da bei der Benutzung eines eisernen Rohres der Widerstand Erdschluss erhalten würde. Der Abfluss aus dem Kasten wird ebenfalls durch einen Schlauch vermittelt, welcher bei Anwendung von reinem Wasser und bei einer Schlauchweite von weniger als 25 *mm* bei Spannungen bis 2500 Volt nicht länger als 12—15′ (engl.) zu sein braucht. Bei der erwähnten Anlage konnte ungewöhnlich reines Wasser, Schmelzwasser aus Schnee, benutzt werden, dessen spez. Widerstand so gross war, dass kein Nebenschluss durch den Auslasseschlauch entstand und man den Finger in den abgehenden Wasserstrahl halten konnte, ohne etwas zu spüren.

Ein Wasserwiderstand, der von Messrs. Hitzeroth & Poole für die San Francisco Gas & Electric Co. zur Prüfung von 2200 Volt-Wechselstrommaschinen und von 10 Amp.-Maschinen bis 7000 Volt Spannung konstruiert wurde, ist besonders einfach. Derselbe besteht wie die oben erwähnten Vorrichtungen aus einem langen Holzkasten, dessen Innenwände mit einem wasserdichten Anstrich versehen sind. Die Elektroden werden durch Kohlenplatten von 26 × 26 *cm* und 12 *mm* Stärke gebildet und erhalten 40—50 Löcher von 12 *mm* Durchmesser für die Wasserzirkulation. Während der Benutzung wird dem Kasten ein andauernder Wasserstrom aus der Wasserleitung durch einen 30 *cm* langen halbzölligen Gummischlauch zugeführt; das abgehende Wasser fliesst durch einen gleichen Schlauch in die Kanalisation. Der Widerstand des Rheostates hängt naturgemäss — die Elektrodenentfernung als fest angenommen — von der Höhe des Wasserspiegels und der Wassertemperatur ab. Hält man aber den Wasserspiegel auf etwa 5 *cm* unter Oberkante und die Temperatur auf einer bestimmten ermittelten Höhe, so hat man annähernd bei 2300 Volt und 260 *mm* Elektrodenentfernung 20 Amp., bei 400 *mm* Elektrodenentfernung 15 Amp. und bei 500 *mm* Entfernung 10 Amp. Stromstärke.

V.

Betriebsführung.

Die folgenden Kapitel sollen dem Betriebsführer einer elektrischen Bahn einige Anhaltspunkte an die Hand geben, welche sich aus älteren Betrieben ergeben haben. Von vornherein muss jedoch darauf verzichtet werden, auch nur annähernd eine erschöpfende Darstellung zu geben, da die Wechselfälle des Betriebes allzu vielseitig sind, als dass sie in ein Schema passten.

1. Fahrpläne für elektrischen Bahnbetrieb.

Es ist bekannt, dass jede Maschine am sparsamsten arbeitet, wenn sie mit der normalen Konstruktionsleistung beansprucht wird. Es werden in der Praxis natürlich Fälle eintreten, wo bei maximaler Leistung selbst bei spezifisch höherem Kohlen- und Wasserverbrauch eine Ersparnis darin liegt, dass z. B. die Dampfmaschinenanlage für den gewöhnlichen Betrieb kleiner sein kann, als im Maximum erforderlich wäre. Das Anlagekapital und somit auch die Verzinsung und Amortisation bleiben kleiner, dafür aber wird bei höchster zulässiger Beanspruchung die Betriebsunterhaltung für die P S-Stunde grösser. Hieraus folgt, dass diese Forcierung nur dann zulässig sein kann, wenn die maximale Beanspruchung z. B. 10 % in der Zeitrechnung nicht übersteigt. Natürlich bleiben hierfür Kohlen-, Wasser- und Maschinen-Preise massgebend. Bei Dampfeisenbahnen ist es nun nicht möglich, die Lokomotivmaschinen stets mit der normalen Leistung arbeiten zu lassen. Dieselbe Lokomotive muss bald leichte, bald schwere Züge schleppen (d. h. innerhalb gewisser Grenzen), muss auf Steigungen und auf der Horizontalen mit grösserer und kleinerer Leistung arbeiten und hat selbst beim Stillstand einen Energieverlust durch Wärmeabgabe, mithin den schlechtesten Nutzeffekt.

Der Elektromotor im Wagen muss ebenfalls verschiedenen Leistungen gewachsen sein; für seinen Stillstand braucht er aber keine Energie. Dadurch, dass seine Leistung proportional dem zugeführten elektrischen Strom ist, ist es möglich, auf der strom-

erzeugenden Station den Stromverbrauch immer auf der gleichen Höhe zu erhalten, wenn der Fahrplan derartig eingerichtet ist, dass sich der maximale Arbeitsverbrauch des einen Wagens mit dem minimalen Verbrauch des anderen Wagens deckt, d. h. fährt der eine Wagen auf der Steigung, so soll der zweite Wagen im Gefälle fahren; fährt der dritte Wagen an, dann soll der vierte Wagen bremsen, d. h. ohne Strom fahren; muss der fünfte Wagen schnell fahren, so soll möglichst der sechste langsam fahren. Wenn es nach dieser Aufstellung möglich wäre, einen genauen Fahrplan herzustellen, würde man in der Primärstation stets den gleichen Stromverbrauch haben und somit stets die gleiche Leistung an den Dampfmaschinen und Dynamomaschinen bezw. auch an den Batterien, für welche dieselben rationell konstruiert werden können. Die Schwankung der Dampfmaschinenleistung unter die normale Beanspruchung verlangt ebenfalls eine spezifisch höhere Betriebsausgabe, und man wird die Anlage am rationellsten herstellen, betreiben und unterhalten können, deren Fahrplan die geringsten Schwankungen in der Summe sämtlicher Wagenbeanspruchungen zeigt. Soweit sich dieser Standpunkt praktisch ausführen lässt, soll er bei der Aufstellung eines Fahrplanes berücksichtigt werden. Dies wird um so leichter sein, wenn die Anzahl der Wagen, bezw. Züge wächst und die Grösse der voneinander unabhängig sich bewegenden Fahrzeuge fällt.

Bei Bahnen mit starkem Sonntagsverkehr wird man versuchen, ebenfalls gleichmässige Beanspruchung an den Sonntagen herzustellen, jedoch heisst es dann, mehr dem Verkehr sich anzupassen, als auf Kohlenersparnis zu sehen. Die Kohlenverschwendung macht sich dann durch den stärkeren Sonntagsverkehr bezahlt.

2. Verhältnis des Energieverbrauchs zu den Betriebskosten bei elektrischen Bahnen.

Für die Verteilung der Betriebskosten einer elektrischen Bahn, die mit Motor- und Anhängewagen betrieben wird, gelten folgende Gesichtspunkte. Eine rohe Teilung, z. B. nach dem Gewichtsverhältnis beider Wagensorten, würde zu einem falschen Resultate führen. Die Gesamtausgaben setzen sich zusammen aus:

1. Allgemeine Verwaltungskosten, wie Betriebsleiter und Büreaupersonal, Kontroll- und Aufsichtsbeamte.

2. Löhne und Kleidung u. s. w. für Wagenführer und Schaffner.

3. Kosten an Kohlen, Wasser, Schmier- und Putzmaterial, Reparaturen, Erneuerungen und Löhne für die Stromerzeugung.

4. Kosten für Reparaturen und Erneuerungen der Stromzuführung.

5. Kosten für Reparaturen und Erneuerungen der Gleise.

6. Kosten für Reparaturen und Erneuerungen des rollenden Materials.

7. Kosten für Reparaturen und Unterhaltung der Baulichkeiten.

Zu Punkt 1. Die Art des Wagens wird keinen Einfluss auf die allgemeinen Verwaltungskosten haben, somit bleibt für die Teilung die Anzahl der Wagenkilometer massgebend.

Zu Punkt 2. Vorausgesetzt, dass Führer und Schaffner gleiche Löhne beziehen, so wird, da der Motorwagen einen Führer und einen Schaffner besitzt, während der Anhängewagen nur von einem Schaffner begleitet wird, zu obigem Verhältnis noch dasjenige von 2 : 1 hinzutreten.

Zu Punkt 3. Hier liegt der Gedanke nahe, einfach das Verhältnis der Gewichte der beiden Wagensorten d. h. die Anzahl der Tonnenkilometer anzuwenden. Der elektrische und maschinelle Teil des Motorwagens verschlingt indessen eine gewisse Energie, welche nicht mehr in Form von Zugkraft zum Vorschein kommt, sondern in Form von elektrischen und mechanischen Reibungen in den Elektromotoren und in dem Übertragungsmechanismus verloren geht. Diese verlorene Energie, auch Leerlaufarbeit des Motorwagens genannt, beträgt ca. 20 % des Gesamtenergieverbrauches bei normaler Leistung. Bei guter Konstruktion und guten Motoren bleibt die Leerlaufarbeit dieselbe, oder schwankt nur zwischen engen Grenzen, ob der Motorwagen leer oder besetzt, allein oder mit Anhängewagen fährt, vorausgesetzt, dass die Motoren stark genug konstruiert, und dass denselben der Strom mit normaler Spannung zugeführt wird.

Ist z. B. das Gewicht eines Motorwagens = 8 *t* und der Stromverbrauch = 10 Amp., der durch die Leerlaufarbeit verzehrte Strom = 2 Amp., so bleibt 1 Amp. für die Tonne als befördernde Kraft übrig. Dieser Stromverbrauch von 1 Amp. ist nun für jede Tonne eines Anhängewagens zu rechnen, da dieser weder Motoren noch übertragende Mechanismen hat, somit also keine Leerlaufarbeit besitzt. Ist das Gewicht des Anhängewagens z. B. = 5 t, so ist das Verhältnis des Stromverbrauches der Motorwagen zu demjenigen der Anhängewagen also nicht 8 : 5, sondern 10 : 5 oder 2 : 1.

Zu Punkt 4. Vorausgesetzt, dass die Leitung genügend stark bemessen ist, wird es auf dieselbe keinen Einfluss ausüben, ob mehr oder weniger Strom durchfliesst, d. h. mit anderen Worten, ob die Motorwagen mit oder ohne Anhängewagen fahren. Die Abnutzungen und Beschädigungen der Leitung rühren allein von dem Stromab-

nehmer des Motorwagens her, welchem daher allein die diesbezüglichen Kosten der Reparaturen und Erneuerungen zur Last fallen.

Zu Punkt 5. Die Kosten für die Gleisreparaturen und Erneuerungen sind nach den Zahlen der beiderseits geleisteten Tonnenkilometer zu teilen.

Zu Punkt 6. Hierbei muss wieder vorausgesetzt werden, dass die elektrische und maschinelle Einrichtung des Motorwagens genügend stark bemessen ist, um noch Anhängewagen zu ziehen. Es wird alsdann der Anhängewagen an den Kosten der Reparaturen und Erneuerungen des Motorwagens nicht teilnehmen. Die Defekte des elektrischen Teiles des Motorwagens entstehen nicht durch Durchfliessen eines stärkeren Stromes, wenn mit Anhängewagen gefahren wird, falls die normale Grenze nicht überschritten wird, sondern durch Feuchtigkeit und Erschütterungen und sind Eigentümlichkeiten des Motorwagens. Der Betrag, um welchen die natürlichen Abnutzungen der Lagerschalen und Übertragungsmechanismen des Motorwagens dadurch höher ist, dass ein Wagen angehängt wird, ist so minimal, dass derselbe hier ruhig ausser Betracht bleiben kann. Die Kosten der Reparaturen und Erneuerungen der Motorwagen fallen also diesen allein zur Last, das gleiche gilt für die Anhängewagen.

Zu Punkt 7. Diese Kosten werden dem Motor- wie dem Anhängewagen gleichmässig zur Last fallen.

Für die Berechnung des durchschnittlichen Tonnenkilometers ist das Eigengewicht des Wagens und das Gewicht der durchschnittlichen Personenbesetzung massgebend. Ist z. B. der Wagen für 30 Personen eingerichtet, und ist, wie in den günstigsten Fällen die durchschnittliche Besetzung nur $^1/_3$, so können zu dem Eigengewicht nur 10 Personen von je 75 *kg* in Rechnung gezogen werden.

3. Tarife und Einnahmeberechnungen.

Man unterscheidet:

Teilstreckentarif,

Einheitstarif (10 Pf. Tarif, Zahlkasten),

Gemischten Tarif { Einheitstarif in der Stadt, Teilstreckentarif auf Aussenlinien.

Für den Teilstreckentarif ist es üblich, den Satz von 4 Pf. für die Person und das Kilometer nicht zu überschreiten.

Im Einheitstarif kann man bis zu 10 *km* für 10 Pf. fahren.

Bei Bestimmung des Tarifs für eine Strassenbahn sind vor allem die örtlichen Verhältnisse massgebend, wobei zu berücksichtigen sind

die Örtlichkeit selbst (ob Grossstadt, Stadt oder Land), die Bevölkerungsziffer und die Art der Bevölkerung, das Verkehrsleben, die Länge der Linien, ihre Lage zu einander u. s. w. Meist wird zunächst ein passender Teilstreckentarif zu wählen sein; Einheitstarif von 10 Pf. nur in solchen städtischen Betrieben, wo alle Umstände ausnahmslos eintreffen, welche als unbedingt notwendig für dessen Anwendung aufgeführt worden sind; sind die Verhältnisse danach, so kann auch ein gemischter Tarif verwendet werden, d. h. Einheitstarif im Innern des Stadtgebietes und Teilstreckentarif auf den Aussenlinien. Es bleibt noch zu erwägen, ob der Einheitstarif auf die Wochentage zu beschränken ist.

Allgemein hat ein billiger Tarif zur Folge, dass die Wagen mehr ausgenutzt werden, allerdings auch die Fahrten vermehrt werden müssen. Die Betriebseinnahmen steigen zum Teil sehr erheblich. Hingegen sinkt die Einnahme für das Wagenkilometer bezw. für die beförderte Person.

Was die Zweckmässigkeit des Einheitstarifs anbetrifft, so gehen die Ansichten ausnahmslos dahin einig, dass dieser Tarif nur zu empfehlen ist für Strassenbahnen, welche ununterbrochen im Innern sehr volksreicher grosser Städte mit grossem Verkehrsleben verbleiben, bei kurzen Abständen der Wagen oder Züge oder häufigem Wechsel der Fahrgäste. Je grösser der Verkehr, desto vorteilhafter wird in diesem Falle der Einheitstarif. Er dient zweifelsohne zur Hebung des Verkehrs und bietet grosse Erleichterungen hinsichtlich Beschaffung der Fahrscheine, der Abrechnung und der Verbuchung, sowie für die Schaffner bezüglich schneller Bedienung der Fahrgäste, hauptsächlich bei motorischem Betriebe.

Auf Strassenbahnen in kleinen Städten mit geringer Frequenz und auf Vororts- und Aussenstrecken, ohne den nötigen Wechsel der Fahrgäste, wo die Entfernungen also gross und die Anzahl der Fahrgäste zu klein ist, muss der Einheitstarif verworfen werden. Auf solchen Bahnen darf rationell nur Teilstreckentarif angewandt werden. Der Einheitstarif ist auch bedenklich auf solchen Bahnen, wo infolge schwieriger Terrainverhältnisse oder aus anderen Gründen die Betriebskosten sehr hoch sind.

Bei grossem Umsteigeverkehr ist der Einheitstarif unbequem.

Von erfahrener Seite wird mehrfach darauf hingewiesen, dass der Einheitstarif an Sonntagen und Tagen von Massenbeförderung verwerflich ist, weil erfahrungsmässig grosse Strecken von einer Person durchfahren werden, wodurch eine Hauptvorbedingung dieses Tarifs, nämlich häufiger Wechsel der Fahrgäste, unerfüllt bleibt. Für solche Tage grosser Sonntagseinnahmen dürfte daher neben dem Einheitstarif für die Wochentage, ein geeigneter Streckentarif beizubehalten sein.

Die Beziehungen zwischen Einwohnerzahl, Einnahme und Wagenkilometerleistung hat Hecker in der ETZ 1899, Heft 33, durch Statistiken folgendermassen belegt:

Wenn die zu erwartende Einnahme aus einem projektierten Strassenbahnunternehmen eine Funktion der Einwohnerzahl ist, so können wir, da letztere bekannt ist, erstere ermitteln. Ist ferner auch die Zahl der zu leistenden Wagenkilometer abhängig von der Grösse der Stadt, in welcher eine Strassenbahn errichtet werden soll, so kann man durch Division der so erhaltenen jährlichen Wagenkilometerzahl durch die Länge der Strecke oder der Linien die Anzahl der jährlichen Fahrten oder den Fahrplan überhaupt festlegen. Es erübrigt also nur noch, zu untersuchen, ob auch die Linienlänge in irgend welcher Beziehung zur Einwohnerzahl steht.

Unter Auslassung der ausnahmsweisen Werte, wie grosser Fremdenverkehr, Ausstellungen, langandauernde Festlichkeiten und dergleichen können die nachfolgenden Tabellen den thatsächlichen Verhältnissen entsprechende Werte liefern.

Tabelle 1.

Einwohner in 10000	a. Einnahme f. d. Kopf und Jahr M.	b. Gesamt-Einnahme M.	c. Wagen-kilometer f. d. Kopf und Jahr	Gesamt-wagen-kilometer
4	2,500	100000,—	10	400000
8	2,800	224000,—	10,8	864000
12	3,136	376320,—	11,664	1399680
16	3,512	561971,20	12,597	2015539,2
20	3,934	786759,68	13,605	2720977,92
24	4,406	1057405,01	14,693	3526387,384
28	4,934	1381675,88	15,869	4443248,104
32	5,527	1768545,12	17,138	5484237,660
36	6,190	2228366,86	18,509	6663348,757
40	6,933	2773078,76	19,990	7996018,508

Tabelle 2.

Einwohner in 10000	a. Wagen-kilometer insgesamt	b. Einnahme f. d. Wagenkilometer Pf.	Hieraus Gesamt-einnahme M.
4	400000	25	100000,00
8	864000	25,926	224000,00
12	1399680	26,886	376320,00
16	2015539,2	27,882	561971,20
20	2720977,92	28,914	786759,68
24	3526387,384	29,985	1057405,01
28	4443248,104	31,096	1381675,88
32	5484237,660	32,248	1768545,12
36	6663348,757	33,442	2228366,86
40	7996018,508	34,681	2773078,76

Wir sind an Hand dieser Tabellen in der Lage, sowohl bestehende Strassenbahnunternehmungen auf ihren normalen Zustand zu prüfen, wie auch neue Projekte so zu gestalten, dass deren Rentabilität mit grosser Genauigkeit vorherbestimmt werden kann, sofern nur in der Linienführung selbst die örtlichen Verhältnisse nach Kräften ausgenutzt und berücksichtigt werden. Die als Konstante aus der Statistik zu entnehmende Zahl der Linienlänge f. d. Kopf der Einwohnerzahl ist

$$0{,}125\ m,$$

d. h. die Gesamtlinienlänge soll nach Hecker

$$10000 \cdot x_1 \cdot 0{,}125\ m$$

nicht übersteigen.

Diesen statistischen Werten stellt Mattersdorf (ETZ 1899, H. 51) die Betriebskurven der Deutschen Strassenbahn-Gesellschaft in Dresden, der Dresdener Strassenbahn, und der Grossen Berliner Strassenbahn gegenüber:

Tabelle 1.

Deutsche Strassenbahngesellschaft in Dresden.

Jahr	Einnahmen M	Wagenkilometer	Pfennige f. d. Wagenkilometer
1890	70528	514987	13,7
1891	504520	1505545	33,6
1892	689199	2100237	32,8
1893	957926	2723375	35,0
1894	1211065	3145983	38,6
1895	1338224	3513316	38,0
1896	1625464	4719898	34,5
1897	1729916	5533900	31,3

Tabelle 2.

Dresdner Strassenbahn.

Jahr	Einnahmen M	Wagenkilometer	Pfennige f. d. Wagenkilometer
1884	1357960	2449343	55,5
1885	1419826	2530283	56,2
1886	1517354	2553838	59,5
1887	1618472	2693451	60,2
1888	1702494	2768084	61,5
1889	1881841	3005198	62,7
1890	2025509	3334662	60,8
1891	2066648	3690329	56,0
1892	2154983	4097403	52,7
1893	2284803	4328331	52,9
1894	2540433	5111136	49,7
1895	2725585	5478319	49,8
1896	3166024	6562655	48,3
1897	3692097	8413650	43,9

Tabelle 3.
Grosse Berliner Strassenbahn.

Jahr	Einnahmen M	Wagenkilometer	Pfennige f. d. Wagenkilometer
1879	4530372	6242634	72,6
1880	5875086	8242587	71,3
1881	6641235	9776955	68,0
1882	7199717	10713252	67,1
1883	7781994	12074999	64,5
1884	8710985	13465335	64,8
1885	9391774	14798694	63,5
1886	10378955	16197903	64,1
1887	11356229	18988779	60,0
1888	11913346	19595767	60,8
1889	13210435	21939779	60,4
1890	14029858	23582254	59,5
1891	14381738	24489305	58,8
1892	14483590	25794816	56,2
1893	14660990	26042809	56,2
1894	14700755	26809760	55,0
1895	15307284	28527124	54,0
1896	16963391	32568646	52,0
1897	16885407	34164305	49,5
1898	18612710	37772595	49,4

Man sieht, dass trotz der Wandlungen im Wachstum der Städte, Vermehrung der Verkehrsgelegenheiten, Änderung der Tarife doch die Entwickelung der wagenkilometrischen Einnahmen eine ganz regelmässige ist, und zwar bis zu einem Maximum, d. h. bis zur Befriedigung des nötigsten Verkehrsbedürfnisses ansteigend, von da an langsam, aber trotz aller Bemühungen der Betriebsleiter unaufhaltsam, entsprechend der sich als notwendig ergebenden Vermehrung der Wagenkilometerleistung zurückgehend.

Bei den beiden Dresdner Gesellschaften lag das Maximum der kilometrischen Einnahmen bei 3 Millionen Wagenkilometern, bei der Berliner Strassenbahn begann der Betrieb mit dem höchsten Wert der kilometrischen Einnahmen.

Bei Grossstädten beeinflusst nicht allein die Vermögenslage der Bevölkerung, oder die Einwohnerzahl, als auch Tarif- oder Monopolfragen und Dichtigkeit des Verkehrs den absoluten Wert der wagenkilometrischen Einnahmen.

Wir ersehen die ausgesprochene Tendenz aller Betriebe, dass die kilometrischen Einnahmen nach Überschreitung eines Maximums allmählich sinken, und augenscheinlich ist die absolute Höhe der Einnahmen nicht allein abhängig von der Einwohnerzahl, sodass es schwierig sein dürfte, einen allgemein giltigen, von der Einwohnerzahl abhängigen Mittelwert für die Einnahme pro Kopf für Grossstädte aufzustellen.

Kallmann berechnet, dass für jeden Kopf der Bevölkerung im Jahre für Bahnbetriebe 0,1 kw/St. anzunehmen ist.

4. Betriebskosten.

Die Betriebskosten elektrischer Bahnen beginnen bei der Erzeugung des elektrischen Betriebsstromes. Seien die Anlagen nun gross oder klein, sie erfordern stets ein und dasselbe Personal in der Erzeugerstation, welches sich sogar in der Anzahl in bestimmten Grenzen hält und ziemlich unabhängig ist von dem Stromverbrauch der Bahnanlage. Es ist klar, dass zur Unterhaltung einer 100pferdigen Dampfmaschine nebst Dynamomaschine bezw. eines hierzu gehörigen Kessels die gleiche Ausnutzung einer Menschenkraft erforderlich ist, als bei einer doppelt oder vierfach so grossen Maschinenanlage. Die Handgriffe, die Beobachtungen der bewegten Teile sind bei der grossen Anlage die gleichen, wie bei der kleinen. Selbst bei der Kesselbedienung, woselbst das Gewicht des Feuerungsmaterials eine grosse Rolle spielt, ist anzunehmen, dass die gleiche Menschenkraft bei grosser oder kleiner Anlage genügt, wenn man entsprechende Hilfsapparate für die Kohlenförderung u. s. w. voraussetzt. Andererseits aber ist der Grösse einer Gleichstrom-Kraftstation sehr bald eine Grenze vorauszusagen, wenn es sich um normale Anlagen handelt. Sache des Ingenieurs bleibt es, besondere Abweichungen dem allgemeinen Rahmen anzuschmiegen.

Durch die Anzahl der Wagenkilometer, durch die Wagen- bezw. Zugfolge, durch die Längenausdehnung und Höhenlage des Netzes ist die technisch und finanziell gute Ausnutzung eines Bahnkraftwerkes bestimmt.

Die Ausgaben für die Stromerzeugung können daher folgendermassen zusammengestellt werden:

1. Gehalt eines Maschinen- und Werkmeisters, sowie eines Materialverwalters.

2. Gehalt für zwei Maschinisten, welche sich im Dienst ablösen müssen, wenn nur mit Tagesschicht gearbeitet wird. Wird der Betrieb Tag und Nacht nicht unterbrochen, so müssen drei Maschinisten den Dienst versehen.

3. Für jeden der beiden Fälle müssen je nach der Grösse der Anlage, Hilfsmaschinisten vorgesehen werden, die im Krankheits- oder Urlaubsfalle sofort die Maschinisten vertreten können.

4. Löhne für Schmierer.

5. Löhne für zwei Kesselheizer (bezw. drei Kesselheizer) für jeden Betriebskessel oder jede Betriebskesselgruppe.

6. Löhne für Hilfskesselheizer bezw. Kohlenfahrer.

7. Löhne für Schlosser } zur Erhaltung des maschinellen Teils
8. Desgl. für Arbeiter } der Maschinen und Kesselanlagen.

9. Zuschüsse zur Krankenkasse für obiges Personal, im Mittel 1 % der Löhne.

10. Zuschüsse zur Alters- und Invaliditäts-Versicherung für obiges Personal im Mittel 15 Pfg. für den Mann und die Woche.

11. Zuschüsse zu bestehenden Pensions- und Unterstützungskassen, welche je nach den Gepflogenheiten des Unternehmens zu bilden sind.

12. Unterhaltung der Geräte und Werkzeuge, welche zu den Reparaturen der maschinellen Anlagen gebraucht werden.

13. Grössere Materialien, welche zu Reparaturen der maschinellen Anlagen gebraucht werden.

Die nun folgenden Stromerzeugungskosten sind mit dem Stromverbrauch im Betriebe proportional veränderlich:

14. Brennmaterial.

Um eine Tonne Bruttolast mit einer vorgeschriebenen Geschwindigkeit fortzubewegen, ist eine bestimmte Arbeitsleistung erforderlich. Es muss also eine Rechnung durchgeführt werden, welche alle Verluste in der Arbeitsumsetzung berücksichtigt.

Am bewegten Wagen angefangen, ergiebt sich zunächst der Wert für die Zugkraft zur Überwindung der inneren und äusseren Wagenwiderstände. Wenngleich bei jeder Bahn die spezifische Zugkraft je nach der Art der Schiene, nach der Beschaffenheit des Gleises, nach der Spurweite, nach dem Achsstand, nach dem Rad- und Flanschdurchmesser, sowie nach dem Widerstand der Lager und Übertragungsmechanismen variiert, so dürfte bei allen Bahnen gleicher Gattung ein guter Mittelwert für obige Berechnung genügen, der im Kap. IV mit 11,5 *kg* berechnet wurde. Für die Berechnung des Kohlenverbrauches ist ferner die Zugkraft für Überwindung der Kurvenwiderstände und für die, durch Bremsung beim Anhalten und Thalfahren verbrauchte Arbeit in Rechnung zu ziehen. Ein der Praxis entsprechender Zuschlag, je nach der Anzahl der Haltestellen und je nach dem befahrenen Gelände ist 15—20 %. Nur in den Gefällen, welche steiler als 1 : 88 sind, wird Arbeit totgebremst, sofern nicht durch Stromwiedergewinnung aus den Elektromotoren auch diese Arbeit zum Teil wieder nutzbar gemacht wird.

Für die genaue Berechnung des Kohlenverbrauches ist es erforderlich zu wissen:

1. den Heizwert der Kohle,
2. den Nutzeffekt der Kesselanlage,
3. » » » Dampfleitung.
4. » » » Dampfmaschine,
5. » » » Übertragung von der Dampfmaschine zur Dynamomaschine (bei direkter Kuppelung = 100 %),
6. den Nutzeffekt der Dynamomaschine,

7. den mittleren Spannungsabfall in der Stromleitungsanlage,
8. den Nutzeffekt der Wagenmotoren,
9. » » der Wagen-Transmission und des Wagens selbst.

Ein der Praxis entnommener Wert für den Kohlenverbrauch unter Verwendung von:

1. guter westfälischer Stückkohle,
2. Röhrenkesseln,
3. Verbunddampfmaschine mit 8,3 *kg* Dampfverbrauch für die effektive Pferdekraftstunde bei Kondensation,
4. Kondensationsvorrichtungen mit 65 *cm* Vakuum,
5. Riemenübertragung,
6. Nebenschluss-Dynamos,
7. 5 % mittlerem Spannungsabfall in der Stromleitung,
8. Serienmotoren in den Wagen,
9. Wagen und Schienen, welche, wie oben berechnet, 11,5 *kg* Zugkraft f. d. *t* erfordern,

ist = 0,15 bis 0,20 *kg* für ein Motorwagen-Tonnenkilometer = 50 Wattstunden bei durchschnittlicher Wagengeschwindigkeit von 12 *km* in der Stunde.

Der Kohlenverbrauch für ein Anhängewagen-Tonnenkilometer unter sonst gleichen Verhältnissen entspricht dem vorher berechneten Wert.

Zu diesem reinen Kohlenverbrauch kommt noch der Verbrauch an Brennholz zum Anfeuern, welcher jedoch unabhängig von der Anzahl der zu leistenden Wagenkilometer ist und bei durchgehendem Betriebe, d. h. wenn die Maschinen und Kessel Tag und Nacht laufen, um z. B. für Beleuchtung mit thätig zu sein, bis auf diejenigen Male in Wegfall kommt, bei denen die Kessel gewechselt werden müssen.

15. Wasser.

Nimmt man eine 8—9fache Verdampfung wie bei guten Kesseln an, so entspricht dem Kesselspeisewasserverbrauch bei vorstehendem Kohlenverbrauch $= 8 \times 0,2 = 1,6$ *l* bezw. $9 \times 0,2 = 1,8$ *l* für das Tonnenkilometer. Dieser Wert entspricht dem maximalen, weil zwar eine 8fache Verdampfung im Kessel bei normalem Betriebe möglich ist, in Wirklichkeit jedoch infolge des schwankenden Betriebes höchstens eine 6fache Verdampfung erzielt wird. Hierzu ist noch ein Zuschlag von 0,1—0,2 *l* für das Tonnenkilometer als Nebenverbrauch zu rechnen.

Der Wasserverbrauch bei Anwendung der nach dem System der Rückkühlung gebauten Oberflächen- und Einspritzkondensationen ist der gleiche, da für die Kühlung des kondensierten Dampfes immer nur so viel Wasser verdunstet, als zur Speisung der Kessel sonst erforderlich wäre.

Für beide Kondensationsarten kommen zur billigen Kühlwasserbeschaffung, bezw. Wasserwiederverwendung Gradier- oder Berieselungswerke zur Aufstellung, welche durch Verdunstung eine Abkühlung bewirken und so das nötige Kühlwasser schaffen. Der Vorteil der Kondensation liegt nicht im Wasserverbrauch, sondern in der Erzielung einer höheren Dampfmaschinenleistung.

16. Öl- und Schmiermaterialverbrauch.

Für diesen Verbrauch sind die verschiedensten Umstände massgebend, welche sich nie unter einem zusammenfassen lassen. Wir müssen uns daher begnügen, gute Durchschnittszahlen anzugeben.

Es werden gebraucht in der Kraftstation für 100000 Tonnenkilometer = 5000 Kilowattstunden:

an Maschinenmineralöl	20,0 *kg*	(frisches)	10 *M*
» filtriertem Maschinenmineralöl	75,0 »	(gebrauchtes)	— »
» Cylindermineralöl	25,0 »		20 »
» Talg, Baumöl, Rüböl . . .	10,0 »		5 »
Öl- und Schmiermaterial:	130,0 *kg*		35 *M*

für die stationären Maschinen.

Für die Motor- und Anhängewagen wird an Lageröl bezw. konsistentem Fett und Zahnradschmiere für 100000 Tonnenkilometer:

an Öl, Fett und Schmiere (Glätte) 60 *kg* = 30 *M* verbraucht.

Der Kostenbetrag für den Gesamtverbrauch in der Station und an den Wagen beläuft sich daher auf 65—70 *M* für sämtliches Schmiermaterial und für 100000 geleistete Tonnenkilometer, wobei natürlich die Kosten des filtrierten Mineralöls gleich 0 zu setzen sind.

17. Putz-, Reinigungs- und Verpackungsmaterial.

Auch hier kommt es wieder auf die sparsame Haushaltung und den vorteilhaften Einkauf bei gutem Material an. Ein statistischer Mittelwert sorgsamer Betriebsführung ist für 100000 Tonnenkilometer 30—35 *M*.

Für Position 16 und 17 zusammen darf mithin die runde Zahl von 10000 ₰ für 100000 Tonnenkilometer, d. h. für 1 Tonnenkilometer = 0,1 ₰ gelten.

18. Reinigung der Wagen.

Dieser Posten ist unabhängig von der Konstruktion des Wagens und der Wageneinrichtung, aber abhängig von dem Reinlichkeitsgefühl des Betriebsführers. Das höchste, was je erreicht werden kann, ist, dass jeder Wagen täglich einmal gereinigt wird. Rechnet man nun, dass jeder Wagen in einer Stunde 10 *km* einschl. aller Aufenthalte zurücklegt, und dass eine 16stündige Betriebsdauer täglich stattfindet, so durchläuft jeder Wagen täglich 160 *km*. Wird die Reinigung eines Wagens in Akkord vergeben, so sind 50 ₰ Arbeits-

lohn üblich. Es wird allerdings auch behauptet, dass ein Mann in den Nachtstunden nicht mehr als drei bis höchstens vier Wagen gründlich reinigen kann, wodurch sich bei einem Lohn von ℳ 2,50 die Kosten der Reinigung auf 60—80 ₰ stellen, mithin betragen die Reinigungskosten für das Wagenkilometer $\frac{50}{160} = 0{,}3$ ₰ bis $\frac{80}{160} = 0{,}5$ ₰.

19. Reparaturen an Kesseln, Maschinen und Wagen.

Diese sind in zwei Gattungen einzuteilen, erstens diejenigen, welche infolge naturgemässer Abnutzung eintreten, und zweitens diejenigen, welche durch Unfälle, Störungen und Unvorsichtigkeiten entstehen.

Die ersteren Reparaturen bleiben wieder proportional den geleisteten Tonnenkilometern, während die letzteren unabhängig von diesen sind. Andererseits bleiben noch die örtlichen Verhältnisse hierfür massgebend.

Bei einem Wagen von 8 *t* Bruttolast und demgemäss von 6,5 *t* durchschnittlicher Bruttolast, wenn man berücksichtigt, dass die durchschnittliche Belastung durch Personen höchstens $^1/_3$ des Fassungsvermögens beträgt, d. h. anstatt 30 Personen je 75 *kg* nur 10 Personen je 75 *kg*, stellen sich die Reparaturkosten erfahrungsgemäss auf

0,75 bis 1 ₰ für das Wagenkilometer in der Station,
1 bis 3 ₰ » » » am Motorwagen, je nach

Bauart und Inanspruchnahme der Wageneinrichtungen, und hierin sind sowohl sämtliche kleinere Materialien als auch Löhne des Werkstattpersonals enthalten.

20. Unterhaltung oberirdischer Stromleitungen.

Auch diese sind abhängig von der natürlichen Abnutzung und Veränderung, sowie von unvorhergesehenen Zwischenfällen.

Hier sind beide Möglichkeiten abhängig von der Anzahl der Wagenkilometer, wenn man von Naturereignissen und mutwilligen Beschädigungen absieht. Die sachgemässe Unterhaltung lässt sich mit 0,5 bis 0,6 ₰ für das Motorwagenkilometer oder mit 4 bis 5 % des Anlagekapitals bewerkstelligen.

21. Unterhaltung der unterirdischen Stromleitungen.

Man rechnet bei den nach den neuesten Erfahrungen hergestellten Unterleitungen, dass die Betriebskosten keinesfalls höher werden, als bei der Oberleitung. Weniger anzunehmen ist nicht empfehlenswert.

22. Unterhaltung der Wagenakkumulatoren.

Hier können nur die Garantien der Akkumulatorenfabriken massgebend sein. Je nach den obwaltenden Verhältnissen können dieselben 3 bis 5 ₰ für das Wagenkilometer betragen, was etwa 0,3 bis 0,5 ₰ für das Tonnenkilometer bedeutet.

Soweit die Stromerzeugungskosten, die Stromfortleitungskosten und die sachlichen Zugförderungskosten.

Es erübrigt nun noch, sich ein Bild über die speziellen Personalkosten des Fahrbetriebes und des Verwaltungsbetriebes zu machen.

23. Wagenpersonal.

Als Grundlage hierfür ist die 10stündige Arbeitsschicht massgebend. In 10 Stunden fährt ein Wagen gemäss den vorstehenden Annahmen 100 *km*. Von 30 Tagen im Monat ist dem Personal gesetzlich 3 Tage Ruhe und 3 Tage Reserve- und Vertretungsdienst zu gewähren, sodass 24 Tage für wirklichen Dienst zu rechnen sind, was einer Jahresleistung von $24 \cdot 12 \cdot 100 = 28\,800$ Wagenkilometern entspricht.

Besteht das Personal nur aus einem Wagenführer, so betragen die Personalkosten im ganzen Jahre:

1.	Lohn z. B. 12 × 90	1080,00 ℳ
2.	Beitrag zur Krankenkasse 1 %	10,80 »
3.	Beitrag zur Invaliditäts- und Altersversicherung 15 ₰ für die Woche	7,80 »
4.	Kleidergeld	50,00 »
5.	Wohlerhaltungsprämie z. B. 5 ℳ für den Monat bei zehnmaliger Auszahlung . . .	50,00 »
6.	Kilometergelder ¼ ₰ für 1 *km*	72,00 »
	Sa.:	1270,60 ℳ

Mithin Führerkosten für das Motor-Wagenkilometer

$$\frac{127060}{28800} = 4{,}4 \text{ ₰}.$$

Wird das Wagenpersonal aus Führer und Schaffner gebildet, so erhöhen sich die Personalkosten um den Schaffnerbetrag, welcher analog obiger Zusammenstellung beträgt:

1.	Lohn, z. B. 12 × 80	960,00 ℳ
2.	Beitrag zur Krankenkasse 1 %	9,60 »
3.	Beitrag zur Invaliditäts- und Altersversicherung 15 ₰ für die Woche	7,80 »
	Sa.:	977,40 ℳ

	Transport:	977,40 ℳ
4. Kleidergeld		50,00 »
5. Zählgeld für verkaufte Fahrscheine od. dergl. Vergütung		50,00 »
6. Kilometergelder $^1/_4$ ₰		72,00 »
	Sa.:	1149,40 ℳ

Mithin Schaffnerkosten für das Wagenkilometer, gleichgiltig ob für Motor- oder Anhängewagen,

$$\frac{114940}{28800} = 4 \text{ ₰}.$$

24. Allgemeine Verwaltungskosten.

Dieselben sind die gleichen wie bei allen anderen ähnlichen Bahnanlagen und bedürfen an dieser Stelle keiner besonderen Begründung. In dem später nachfolgenden Betriebskostenschema sind dieselben der Vollständigkeit halber noch einzeln aufgeführt.

25. Erneuerungsfonds.

Zur Bildung der Erneuerungsfonds müssen von den Betriebseinnahmen im einzelnen zu bestimmende Summen jährlich zurückgelegt werden, damit der Betrieb nicht durch solche Ausgaben belastet wird, die sich mit grösseren Summen plötzlich als notwendig erweisen. Es ist hierbei erforderlich, dass jeder Teil der Anlage, welcher mit der Zeit durch neue Apparate oder Materialien ersetzt bezw. erneuert werden muss, durch eine zurückgelegte Summe gedeckt ist, wenn die Beschaffung notwendig wird. Den richtigen Satz hierfür zu finden, ist natürlich eine äusserst schwierige Aufgabe und es würde eine begründete Detaillierung des Erneuerungsfonds nicht mehr in den Rahmen dieses Werkes fallen.

Über die Art der Buchführung und der Kontierung ist bei Julius Springer-Berlin ein eingehendes Werk von Otto Behrens, Buchführung und Bilanzen bei Nebenbahnen, Kleinbahnen und ähnlichen Verkehrsanstalten erschienen.

Der Grundsatz, nach welchem beim Erneuerungsfonds verfahren werden muss, soll an einigen kurzen Beispielen erläutert werden.

Die Lebensdauer der Dampfkessel ist aus anderen Betrieben bekannt. Von Grosswasserraumkesseln wird behauptet, dass dieselben bei guter Instandhaltung 20 Jahre halten, ohne ersetzt werden zu müssen. Rechnen wir also mit diesen 20 Jahren, so ist der Anschaffungspreis in 20 Jahren wieder anzusammeln und zwar jährlich mit einem Betrage, der nach der sogenannten Erneuerungsformel als

jährliche Quote auf Zinseszins zurückzulegen ist. Nachstehende Erneuerungsfondstabelle gründet sich auf die Formel:

$$x = \frac{K(y-1)}{y^z - 1},$$

worin bedeutet:
x = jährliche Rücklage
K = Anfangskapital
z = Anzahl der Jahre
$p\%$ = Zinsfuss
$y = 1 + \frac{p}{100}$.

In unserem Falle sind 3,024 % des Anlagekapitals zur Rücklage erforderlich, wenn man 5 % Zinsen annimmt.

Von Dampfmaschinen kann man annehmen, dass dieselben nach 20 Jahren sicher verbraucht sind, und wenn sie es noch nicht sind, so ist deren Ersetzung durch besser konstruierte, zeitgemässere Maschinen ein Bedürfnis für den Betrieb.

Auch hier würden mit dem obigen Prozentsatz Rücklagen zu erfolgen haben.

Dynamomaschinen, Apparate, blanke Kupferleitungen und Kabelleitungen, Motoren, Räder, Achsen und Bandagen, Stromleitungstragwerk und schliesslich Gleise und Bauten sind mit entsprechenden Rücklagen zu bewerten, sodass die Summe der Rücklagen und die Summe sämtlicher Buchwerte den ursprünglichen Wert der Anlage jederzeit darstellen.

Zwischen dem Stadium dieser Gesamterneuerung und dem Stadium der Betriebserhaltung liegt noch eine Teilerneuerung, welche zu bewerten ebenso schwierig ist, wie die Gesamterneuerung. Es ist z. B. bei Wasserröhrenkesseln erforderlich, hin und wieder einige der am stärksten beanspruchten Wasserrohre auszuwechseln, was sicherlich den Rahmen der laufenden Betriebsreparaturen übersteigen wird. Um auch mit diesen Ausgaben den Betrieb nicht zu belasten, ist es gut, wenn noch ein Nebenerneuerungsfond für grössere Teile der Kessel, Maschinen, Apparate u. s. w. eingerichtet wird. Unter solcher Voraussicht wird ein geordneter Betrieb allen plötzlichen Beanspruchungen gewachsen sein und einen regelmässigen und sicheren Überschuss des Unternehmens gewährleisten, vorausgesetzt, dass die Anlage von vornherein lebensfähig war.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen beansprucht eine elektrisch betriebene Strassenbahn eine jährliche Rücklage von 0,5—0,6 ₰ für das geleistete Tonnenkilometer.

26. Zinsen und Amortisation des Anlagekapitals.

Die vorstehenden Kosten betreffen die reinen Betriebsausgaben. Um nun die Rentabilität der Anlage zu ersehen, ist der Überschuss noch um die Steuern und die etwa geforderten Abgaben zu kürzen. Der dann verbleibende Rest ergiebt die Verzinsung und Amortisation nach Tabelle auf Seite 583, bei der Zinsen und Amortisationsquoten mit Zinseszins verrechnet sind. Die umstehende Amortisationstabelle gründet sich auf folgende Formel:

$$x = \frac{K y^{z} (y - 1)}{y^{z} - 1},$$

worin x, K, z, y wieder die gleiche Bedeutung wie in der Erneuerungsformel besitzen.

Die erste Horizontalreihe giebt den Zeitraum in Jahren an, nach dessen Ablauf ein Kapital von 100 ℳ amortisiert und verzinst sein soll. Die übrigen Horizontalreihen bedeuten die jährlichen Amortisationsquoten, d. h. die Summen, welche so und so viel Jahre lang am Ende jedes Jahres abgeschrieben werden müssen, damit nach ebenso viel Jahren die Amortisation von 100 ℳ beendet ist. Die erste Vertikalreihe giebt den Zinsfuss an, der für die Verzinsung des Kapitals vorausgesetzt wird.

Zur Berechnung der Steuern und Abgaben sind die Landes- und Gemeinde-Gesetze sowie die örtlichen Verhältnisse massgebend.

Abgaben soll man niemals von der Bruttoeinnahme zusagen, da erst nach Deckung der Betriebskosten eine Abgabe geleistet werden kann.

Über eine »graphische Ermittelung der Brutto-Abgaben elektrischer Bahnen« hat Mattersdorff in der ETZ 1898, Heft 40, S. 823 geeignete Zusammenstellungen gemacht, die bei der Projektierung neuer Bahn-Anlagen zu beachten sind und die Grenze feststellen, die man bei Zusagen machen darf.

Eine schematische Zusammenstellung der vorstehend im einzelnen begründeten Ausgaben wird in Nachfolgendem als Anhaltspunkt für Aufstellung von Betriebskosten neuer Anlagen gegeben. Die angegebenen Einzelpreise sind Mittelwerte aus längeren Betriebszeiten, die jedoch nicht überall gleich sein können, sondern von Fall zu Fall verändert werden müssen.

Das allgemein übliche Normalbuchungsformular der Eisenbahnen Deutschlands eignet sich nicht für eine derartige kurze Übersicht, wogegen sich das nachfolgende Schema zur Aufstellung der Betriebskosten einer elektrisch betriebenen Strassenbahn allgemein eingeführt hat.

Tabelle für Erneuerungsfonds (Rücklagen).

Nach Jahren		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bei einem Zinsfuss von	4 %	100,00	49,032	32,026	23,545	18,459	15,077	12,666	10,855	9,4518	8,331	7,417	6,657	6,016
	5 %	100,00	48,781	31,726	23,202	18,090	14,701	12,282	10.471	9,068	7,950	7,038	6,282	5,645
Nach Jahren		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Bei einem Zinsfuss von	4 %	5,468	4,984	4,583	4,241	3,901	3,623	3,359	3,129	2,921	2,735	2,570	2,402	2,257
	5 %	5,102	4,677	4,227	4,870	3,554	3,274	3,024	2,799	2,597	2,414	2,247	2,130	1,956
Nach Jahren		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Bei einem Zinsfuss von	4 %	2,125	2,012	1,889	1,784	1,682	1,595	1,511	1,432	1,358	1,289	1,224	1,164	1,107
	5 %	1,829	1,712	1,605	1,505	1,412	1,328	1,249	1,176	1,107	1,043	0,984	0,928	0,876
Nach Jahren		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Bei einem Zinsfuss von	4 %	1,053	1,002	0,954	0,909	0,867	0,827	0,789	0,753	0,718	0,686	0,655		
	5 %	0,828	0,783	0,740	0,699	0,662	0,626	0,591	0,561	0,546	0,504	0,478		

Amortisations-Tabelle.

Nach Jahren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3%	103,00	52,261	35,353	26,903	21,835	18,460	16,051	14,246	12,843	11,723	10,808	10,040	9,403	8,853	8,377	7,961	7,595
3½%	103,50	52,640	35,693	27,225	22,148	18,767	16,354	14,548	13,145	12,024	11,109	10,348	9,706	9,157	8,683	8,268	7,904
4%	104,00	53,020	36,035	27,549	22,463	19,076	16,661	14,853	13,449	12,328	11,415	10,655	10,014	9,467	8,994	8,582	8,220
4½%	104,50	53,400	36,377	27,874	22,779	19,388	16,970	15,164	13,757	12,638	11,725	10,967	10,328	9,782	9,311	8,902	8,542
5%	105,00	53,780	36,721	28,201	23,097	19,702	17,282	15,472	14,069	12,950	12,039	11,283	10,646	10,102	9,634	9,227	8,870
6%	106.00	54,544	37,411	28,859	23,740	20,336	17,914	16,104	14,702	13,587	12,679	11,928	11,296	10,758	10,296	9,895	9,544
7%	107,00	55,309	38,105	29,523	24,389	20,980	18,555	16,747	15,349	14,238	13,336	12,590	11,965	11,434	10,979	10,586	10,243

Nach Jahren	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
3%	7,271	6,981	6.722	6,486	6,274	6,083	5,904	5,743	5,593	5,456	5,369	5,213	5,101	5,000	4,904	4,818	4,736
3½%	7,582	7,294	7,036	6,802	6,578	6,388	6,227	6,068	5,921	5,786	5,661	5,545	5,483	5,337	5,244	5,158	5,077
4%	7,899	7,614	7,358	7,128	6,921	6,732	6,559	6,403	6.257	6,124	6,002	5,888	5,784	5,686	5,595	5,511	5,432
4½%	8,224	7,941	7,688														
5%	8,555	8,274	8,024	7,800	7,597	7,414	7.247	7,095	6,956	6,845	6,759	6,605	6,505	6,413	6,328	6,259	6,175
6%	9,236	8,961	8,718														
7%	9,941	9,675	9,439														

Nach Jahren	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
3%	4,653	4,580	4,510	4,446	4,384	4,328	4,271	4,219	4,169	4,113	4,078	4,039	3,996	3,958	3,922	3,886
3½%	5,000	4,929	4.861	4,798	4,739	4,683	4,603	4,580	4,533	4,488	4,945	4,405	4,367	4,331	4,296	4,263
4%	5,358	5,289	5,224	5,152	5.106	5,053	5,002	4,955	4,909	4,867	4,827	4,788	4,752	4,718	4,685	4,549
5%	6,107	5,795	5,984	5,928	5,877	5,829	5,783	5,740	5,719	5,662	5,627	5,593	5,561	5,532	5,504	5,478

I. General-Unkosten.

A. Gehälter und Löhne

a) des technischen Betriebsleiters
b) des kaufmännischen Betriebsleiters
c) des Betriebs-Ingenieurs
d) des Betriebs-Inspektors
e) des Verkehrs-Inspektors
f) des Kassierers
g) des Rechnungsprüfers
h) der Kontrolleure
i) der Bureaubeamten
k) des Materialverwalters
l) des Bahnmeisters
m) des Wagenmeisters
n) des Maschinenmeisters
o) des Werkmeisters
p) der Bureaudiener
q) des Nachtwächters.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehende Beamte

a) Krankenkasse
b) Alters- und Invaliditäts-Versicherung
c) Pensionskassenbeiträge.

C. Sachliche Ausgaben und Abgaben

a) Kosten der Bureaumaterialien
b) Porti
c) Mieten
d) Gewerbesteuern und Grundsteuern
e) Versicherungsbeiträge
f) Druckkosten
g) Stempel
h) Gerichtskosten
i) Uniformen für e, h, l, m unter A.

D. Materialkosten für

a) Heizung } der Bureaux.
b) Reinigung } der Bureaux.
c) Beleuchtung } der Bureaux.

II. Herstellung der Triebkraft in der Kraftstation.

A. Löhne

a) des Obermaschinisten
b) der Maschinisten (40 ₰/St.)
c) der Hilfsmaschinisten (35 ₰/St.)
d) der Betriebshandwerker (40 ₰/St.)
e) der Heizer (32 ₰/St.)
f) der Hilfsheizer (30 ₰/St.)
g) der sonstigen Arbeiter. Putzer, Schmierer u. Kohlenfahrer (26 ₰/St.)

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehende Beamte (ca. 3 % der Löhne)

wie unter I B.

C. Betriebsmaterialien-Verbrauch

a) Kohle
b) Holz
c) Wasser
d) Öl und Schmiermaterial
e) Verpackungsmaterial
f) Bürsten für Dynamos
g) Putzmaterial.

D. Reparaturmaterialien-Verbrauch für

a) die Pumpen
b) die Dampf- und Wasserleitungen
c) die Kessel (Kesselreinigung 150—200 ℳ für einen Kessel
d) die Dampfmaschinen
e) die Stromerzeuger
f) das Schaltbrett
g) die Apparate
h) die Leitungen.

E. Beleuchtung und Reinigung der Kraftstation.

F. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

III. Zugkosten.

A. Löhne, Kilometer-Gelder, Wohlerhaltungsprämien u. s. w.

a) der Wagenführer
b) der Schaffner
c) der Wagenwäscher
d) der Wagenreparaturschlosser
e) der Werkstattarbeiter.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehende Beamte (ca. 3% der Löhne) wie I B.

C. Sachliche Ausgaben

a) Uniformen für die Führer
b) Uniformen für die Schaffner
c) Beleuchtung
d) Heizung der Werkstätten.

D. Betriebsmaterialien-Verbrauch an

a) Öl und Schmiermaterial
b) Motoren-Bürsten
c) Bremsklötzen
d) Desinfektionsmaterial
e) Wagenheizung (3—5 ₰/St. bei Brikettheizung)
f) Beleuchtung und Notbeleuchtung
g) Reinigungsmaterial.

E. Reparaturmaterialien-Verbrauch für

1. die Motorwagen-Untergestelle
   a) Achsen
   b) Räder
   c) Bandagen (1 Radsatz abdrehen 3—5 ℳ in eigener Werkstatt)
   d) Federn
   e) Bremsen
   f) Lager,

2. die Motoren
   a) Anker
   b) Magnete
   c) Kommutatoren
   d) Bürstenhalter
   e) Lager
   f) Schutzkästen,
3. die Übertragungen
   a) Zahnräder, Ketten, Schnecken u. s. w.
   b) Schutzkästen,
4. die Apparate und Leitungen
   a) Umschalter
   b) Ausschalter
   c) Bleisicherungen
   d) Blitzableiter
   e) Lampen
   f) Kabel
   g) elektrische Klingel und Signalglocken,
5. den Wagenkontakt
   a) Kontaktstange
   b) Kontaktrolle oder -Bügel (0,1 ₰ — 0,05 ₰ für d. *km*)
   c) Federbock,
6. den Wagenkasten
   a) Glasscheiben
   b) Perron- und Wagenthüren
   c) Laufroste und Fussbodenklappen
   d) Sitzbänke und Polster
   e) Wagendach
   f) Holz, Blech, Gummi und sonstige Rohmaterialien,
7. die Anhängewagen (150 ℳ für 1 Jahr)
8. den Anstrich und die Lackierung sämtlicher Wagen
9. die Bahnmeister- und Salzwagen
10. die Arbeitsmaschinen in der Werkstatt.

F. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

IV. Unterhaltung der Stromzuführungs-Anlagen.

A. Löhne
   a) Leitungsrevisoren
   b) Arbeiter.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehendes Personal
   wie I B.

C. Sachliche Ausgaben
   Uniformen für die Leitungsrevisoren.

D. Reparaturmaterialien-Verbrauch für
   a) den Fahrdraht
   b) die Isolatoren
   c) das Tragwerk
   d) die Masten und Ausleger (Anstrich)
   e) die Rosetten
   f) die Schienen-Rückleitung

g) die Speiseleitungen
h) die Telephon- und Prüfleitungen
i) die Leiter- und Montagewagen
k) den Schlitzkanal.

E. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

V. Unterhaltung des Oberbaues und Reinigung der Gleise.

(100 *M/km* im Jahre bei Strassenbahnen mit einfachem Pflaster.
200 „ „ „ „ eigenem Bahnkörper.)

A. Löhne

a) Vorarbeiter
b) Streckenarbeiter
c) Streckenwärter.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehendes Personal

wie I B.

C. Sachliche Ausgaben

Uniformen für Vor-, Streckenarbeiter und für die Streckenwärter.

D. Reparaturmaterialien-Verbrauch für

a) die Gleise
b) die Arbeitsgruben
c) die Schiebebühnen
d) die Drehscheiben
e) den Bahnkörper
f) das Pflaster.

E. Materialien-Verbrauch für

a) Reinigung der Gleise
b) Schneeabfuhr
c) Salzstreuung.

F. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

VI. Unterhaltung der Gebäude.

Reparaturen an den Gebäuden.

VII. Entschädigungen für Unfälle.

a) Entschädigung auf Grund der Haftpflicht
b) Zahlungen auf Grund der Unfall-Versicherungen (höchstens 5 ‰ der Einnahmen)
c) Unterstützung an Hinterbliebene
d) Kosten für ärztliche Untersuchungen und Behandlungen
e) Kosten für Arzneien.

VIII. Rücklagen für die Erneuerungen.

a) für Pumpen
b) für Dampfkessel 10 %
c) für Dampf- und Wasserleitungen
d) für Dampfmaschinen
e) für Stromerzeuger
f) für Übertragungsmechanismus
g) für Apparate und Leitungen in der Kraftstation
h) für elektrische Streckenausrüstung (1,2 ₰/*Wgkm.*)

α) für Maste
β) für Tragwerk
γ) für Fahrdraht
δ) für Speiseleitungen

i) für Wagen-Untergestelle
k) für Wagenkästen
l) für elektrische u. motorische Einrichtung der Wagen
} 1,8 ₰/*Wgkm.*
m) für Gebäude
n) für Gleise.

IX. Abgaben und Steuern.

Es folgen einige statistische Daten aus praktischen Betrieben: C. H. Davis veröffentlicht im »Engineering Magazine« interessante Daten über den ökonomischen Betrieb von elektrischen Bahnen. Er macht darauf aufmerksam, dass die Auslagen für Brennmaterial nur einen sehr kleinen Teil der gesamten Betriebskosten betragen und dass es deshalb nicht immer angezeigt ist, bei der Anlage der Kraftstation sehr ökonomische und dementsprechend sehr teure Dampfmaschinen einzustellen. Als Beispiel führt er zwei Bahnen A und B an. In A wurden Maschinen mit zusammen 425 PS Leistung eingestellt und kostete die Anlage 285 ℳ für die PS. In B war die Maschinenleistung 300 PS und die Anlage kostete 400 ℳ für die PS. Dagegen kostete das Kilometer Bahn bei A 50000 ℳ und bei B 21000 ℳ. Was an Anlagekosten in der Centrale bei A gespart wurde, ist auf die verbesserte Konstruktion der Bahn ausgegeben worden, und zwar mit bestem finanziellen Erfolg, indem trotz der weniger ökonomischen Dampfmaschinen bei A die gesammten Betriebskosten für das Wagenkilometer 41 ₰, bei B jedoch 58 ₰ ausmachen.

Über den Kohlenverbrauch für das Wagenkilometer hat Davis von einer grossen Anzahl Bahnen Daten gesammelt und fand folgende Zahlen:

Dampfmaschinen-Type	Anzahl Bahnen	Kohlenverbrauch in *kg* für 1 Wagenkilometer		
		grösster Wert	kleinster Wert	Mittelwert
Corliss-Auspuff	9	6,1	2,5	4
Corliss-Kondensation	7	3,7	1,4	2,5
Corliss-Compound-Kondens.-M. . .	7	3	1,4	2,2
Schnellläufer-Auspuff	13	6,6	2,1	4,2
Schnellläufer-Kondensation	3	4,6	2,6	3,8
Schnellläufer-Compound-Kondens.-M.	3	5,4	1,5	2,9

Ein Blick auf die Tabelle zeigt, dass der Unterschied im Kohlenverbrauch bei ein und derselben Maschinentype grösser ist als jener der Leistungen bei

den einzelnen Gruppen von Bahnen mit verschiedenen Dampfmaschinentypen, dass also die Maschinentype im Vergleich mit lokalen Bedingungen einen nur untergeordneten Einfluss auf den Kohlenverbrauch hat.

Eine Statistik der Stadtbahn Halle, der elektrischen Strassenbahn Lübeck und eine durchschnittliche Zahlenzusammenstellung für Amerika seien hier beigefügt, um an praktischen Zahlen entsprechende Vergleiche anstellen zu können.

	Halle (für das Wagenkilometer) ₰	Lübeck (für das Wagenkilometer) ₰
1. Betriebseinnahmen:		
a) Fahrgelder	24,40	20,78
b) Diverse Einnahmen	0,08	0,28
c) Zinsen	0,34	
	24,82	21,06
2. Betriebsausgaben:		
a) Allgemeine Verwaltung (Gehälter für die Verwaltung, Geschäftsunkosten, Annoncen, Steuern und Abgaben, Versicherungen und sonstige unvorhergesehene Ausgaben)	3,01	1,07
b) Fahrdienst (Löhne im Wagenbegleitdienst, Wagenunterhaltung, Unterhaltung der Werkstatt, Schmier- und Putzmaterial, Beleuchtung und Verbrauch an Kohlenbürsten)	6,44	6,34
c) Stationsdienst (Besoldungen, Immobilienunterhaltung, Kessel- und Maschinenunterhaltung, Kohlen und Wasser, Putz- u. Schmiermaterial, Schlackenabfuhr, Verbrauch an Kohlenbürsten)	3,99	3,84
d) Streckendienst und Unterhaltung der Stromzuführung (Besoldungen, Unterhaltung der Gleise und der Stromzuführung)	1,05	0,86
	14,49	12,11
e) Erneuerungsfonds (Aufwendung für Wagen, Station, Bahnkörper, Stromzuführung, Zuführung zum Erneuerungsfond und Amortisation)	4,3	2,74
	18,52	14,85

Die Angaben von Lübeck beziehen sich auf das Betriebsjahr 1894/95, diejenigen von Halle dagegen sind Durchschnittswerte aus den Jahren 1891/92, 92/93, 93/94 und 94/95.

	Halle	Lübeck
3. Betriebslänge in *km*	12,56	13,87
Zahl der täglich verkehrenden Motorwagen	28,—	20,—
Geleistete Motorwagenkilometer im Jahr	1 137 295	919 560,48
Zahl der Anhängewagenkilometer	19 217,44	20 474,63
Gesamt-Anlagekapital ℳ	1 300 000	1 294 314

Obgleich diese Zahlen nicht mehr ganz zeitgemäss sind, bieten sie doch noch gute Vergleichswerte.

Statistik der Betriebskosten für die Zugkosten eines Wagenkilometer in Amerika bei 750 000 Wagenkilometer/Jahr.

	₰
Maschinisten- und Heizerlöhne	1,4
Reparaturen an Maschinen in der Station	0,005
Feuerung der Kessel	2,15
Öl und Putzwolle	0,075
Speisewasser für die Kessel	0,13
Schmiermaterial für Dynamos und Motoren	0,29
Reparaturen an Dynamos und Motoren	3,17
» » Stromleitungen und an Wagenkontakten	0,75
Reparatur der Motorwagenkästen	0,7
» » Anhängewagen	0,16
Sa.	8,83

Aus englischen Verhältnissen heraus berechnet Raworth für Bahnbetriebe den Verkaufspreis der *kw/St.* zu 8,33 ₰. Als Beispiel nimmt er eine Station, welche 1 000 000 *kw/St.* im Jahre erzeugt. Für die Erzeugungskosten (Kohlen, Löhne, Öl u. s. w.) berechnet er 2,59 ₰ für die *kw/St.*, für Miete, Steuern, Reparatur und Abschreibung 2,20 ₰ und für Gehälter und Bureauunkosten 0,8 ₰. Dieses macht zusammen 5,59 ₰, und es bleiben 2,74 ₰ als Reingewinn übrig. Das Kapital wurde zu 340 000 ℳ angenommen, sodass der Gewinn 27 400 ℳ oder 8 % beträgt. Weitere Statistik ergiebt die folgende Tabelle:

Bahnanlage	Liverpool Overhead Railway		Metropolitan Railroad of Washington	Manchester Centrale (für Beleuchtung)
Betriebszeit	Januar bis Juni 1896	Juli bis Dezember 1896	Sept. 1896 bis Februar 1897	April 1895 bis März 1896
Zugkilometer	503 600	516 500	—	—
Erzeugte *kw/St.*	1 343 129	1 377 060	2 835 520	1 926 900
	Pfennige für die erzeugte *kw/St.*			
Kohle	0,98	1,01	1,88	3,17
Materialien, Öl u. s. w.	0,32	0,52	0,39	1,15
Löhne und Gehälter	3,83	3,82	1,65	3,48
Reparatur u. Erneuerung	1,45	1,79	—	1,10
Summe	6,58	7,14	—	8,90

Bahnanlage	Dublin England	Chicago City Railway		Metropolitan West End Elevated Railway of Chicago
		Station I	Station II	
Kosten der Station in ℳ	—	1 540 000	1 600 000	2 550 000
Kapazität (Kilowatt)	—	5 250	5 280	4 500
Monatlich erzeugte *kw/St.*	—	1 067 900	2 375 000	1 460 000
	Pfennige für die erzeugte *kw/St.*			
Kohle	2,98	2,03	1,52	1,39
Materialien, Öl u. s. w.	0,52	0,20	0,16	0,21
Löhne und Gehälter	1,79	0,91	0,31	0,89
Reparatur u. Erneuerung	2,06	1,40	0,67	1,79
Summe	7,35	4,54	2,66	4,28

Da Strassenbahnen öfters in der Lage sind, Strom aus vorhandenen Stromerzeugerstationen zu entnehmen oder entnehmen zu müssen, bietet diese Zusammenstellung gegenüber den bei uns üblichen Tarifen von 9 bis 10 ₰ für die *kw/St.* geeignete Vergleichsobjekte.

5. Technische Betriebsüberwachung.

Mehr als bei jedem anderen technischen Betriebe ist es hier erforderlich, dass sämtliche Anlagen bis in die kleinsten Einzelheiten überwacht und studiert werden. Da es aber nicht möglich ist, dass der Ingenieur bei allen Vorkommnissen einer Bahn selbst zugegen ist, so muss er sich wohl oder übel darauf beschränken, die Ansicht und Absicht der Untergebenen in statistischem Material aus schematischen Angaben zu sammeln und dann daraus seine konstruktiven oder verwaltungstechnischen Folgerungen ziehen. Neben diesen Statistiken sind Messungen und Prüfungen der gesamten Anlagen von Zeit zu Zeit vorzunehmen.

a) Statistiken.

Die nachstehenden Schemata geben erprobte Modelle aus der Praxis wieder und erfüllen den geforderten Zweck mit gewünschter Genauigkeit. Der Betriebsführer hat nur darauf zu sehen, dass die vorgedruckten Rubriken auch wirklich gewissenhaft ausgefüllt werden.

Schema I ist für den Obermaschinisten bezw. den Aufsicht führenden Maschinisten bestimmt und führt die Kontrolle über das Maschinen- und Kesselhaus.

Schema II ist für den Werkmeister bestimmt und führt die Kontrolle über die Werkstattsarbeiten und über das Betriebsmittelregister.

Schema IIIa ist für die Monatsstatistik und IIIb für die Jahresstatistik bestimmt und ist vom Betriebsingenieur zusammenzustellen, nachdem der Maschinenmeister und der Werkmeister die einzelnen Rubriken ausgefüllt haben.

Schema IV giebt schliesslich einen Überblick über die Tagesleistung und ist von jedem Schaffner bezw. Wagenführer auszufüllen.

Schema V bildet die Rückseite des Fahrzettels (Schema IV) und schreibt dem Berichtenden die zu beantwortenden Fragen bei Unfällen und Beschädigungen vor.

Schema VI giebt noch eine Wochen-Zusammenstellung, die für den allgemeinen Dienst neben den vorstehenden technischen Statistiken geführt werden kann.

Schema I.

.... Bahn.

Tages-Bericht der Kraftstation für den 19

Maschine und Dynamo No.	Stunde des Inbetriebsetzens	Stunde des Ausserbetriebsetzens	Maschinen-Stunden	Kessel No.	Stunde des Inbetriebsetzens	Stunde des Ausserbetriebsetzens	Kessel-Stunden	Bemerkungen
								Angaben des K.W.-Zählers
		Zusammen				Zusammen		

Verbrauch	
Holz	
Kohlen . . . . kg	
Wasser l	
Cylinderöl	
Maschinenöl	
Konsistentes Fett	
Schwarze Putzbaumwolle . .	
Weisse Putzbaumwolle . .	
Soda	
Kalk	
Dynamo-Bürsten	
Petroleum	
Glaspapier	
Schmirgelpapier	
Lampen	
Verschiedenes	

Verbrauch	
Maschinenöl	
Konsistentes Fett	
Fett für Zahnräder	
Schwarze Putzbaumwolle .	
Weisse Putzbaumwolle . .	
Petroleum	
Motor-Bürsten	
Bremsklötze	
Lampen (Wagen No.) . .	
Verschiedenes	

Versuche

Isolierung der Linie

Witterung

Schema II.

Tabelle des Personals der Kraftstation.

Name der Bediensteten	Eigenschaft	Arbeitsstunden	Bezeichnung der Arbeit	Zuschreibungen

Materialien-Verbrauch (Unterhaltung, Reparaturen, Erneuerung).

Natur der Materialien	Menge	Gewicht	Ausmessungen oder No.	Für die Unterhaltung, die Reparaturen oder die Erneuerung von	Zuschreibungen

Eingegangenes altes Material.

Natur des Materials	Menge	Gewicht	Abmessungen oder No.	Herkunft

Schema II. Fortsetzung.

Rollendes Material

No. der Wagen		Zusammen	Bemerkungen
Wagen in Betrieb			
Ausser Betrieb gesetzt			
In Reserve			
In Reserve, die in Betrieb gesetzt werden mussten			
In Reparatur und betriebsfähig			
In Reparatur und nicht betriebsfähig			
No. der Wagen			
Beiwagen in Reserve			
Beiwagen in Betrieb			
Beiwagen, die ausser Betrieb gesetzt werden mussten			
Bemerkungen der Fahrzettel (Unfälle), Ursachen u. s. w.			

Bemerkungen des Werkstatt-Vorstehers (festgestellte Beschädigungen).

Schema IIIa. **Monats-Ausweis.**

Datum	Tag	Wagen in Betrieb	Gefahrene Touren	Gefahrene Kilometer	Beförderte Personen	Tages-Einnahme		Witterung	Bemerkungen
						Mark	Pf.		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
Summe . . .									
Vorig.Monat									
Mehr									
Weniger . .									

Auf ein Wagen-Kilometer entfallen .... Personen und . . . Mk. Einnahme.

Die Betriebsverwaltung.

Schema III b.

Strassenbahn.

Bericht für den Monat .... 19..

Geleistete Kilometerzahl.

Linien	Motorwagen		Beiwagen	
	Jahr 19 .	Jahr 19 .	Jahr 19 .	Jahr 19 .
Zusammen				

Kohlen-Verbrauch.

Im Ganzen.		Für das Wagenkilom.	
Jahr 19 .	Jahr 19 .	Jahr 19 .	Jahr 19 .
Bezugsquelle	Bezugsquelle		

Schema III. Fortsetzung.

Folgende Arbeiten sind ausgeführt worden:

A. An der Krafterzeugungs-Anlage.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

B. An dem rollenden Material.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

C. An der Leitung und Rückleitung.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

D. An der Werkstätte, den Remisen und dem Magazin.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

Personal.

Eingetreten	Ausgetreten

Schema IV.

Linie von

Länge **Wagen No.** ...... **A. Motor No.** **Anker No.** ......

Fahrzettel für den ...... **B. Motor No.** ... **Anker No.** ......

Hinfahrt.						**Rückfahrt.**					
No. der Fahrt	Ab-fahrts-zeit	An-kunfts-zeit	Die Fahrt ist gemacht worden		Bemerkungen über Verspätungen und Betriebs-Unfälle	No. der Fahrt	Ab-fahrts-zeit	An-kunfts-zeit	Die Fahrt ist gemacht worden		Bemerkungen über Verspätungen und Betriebs-Unfälle
			ohne Bei-wagen	mit Bei-wagen No.					ohne Bei-wagen	mit Bei-wagen No.	
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
5						5					
6						6					
7						7					
8						8					
9						9					
10						10					
11						11					
12						12					
13						13					
14						14					
15						15					
16						16					
17						17					
18						18					
19						19					
20						20					
Gesamt-Anzahl der Motorwagen-Fahrten						Gesamt-Anzahl der Motorwagen-Fahrten					
Gesamt-Anzahl der Beiwagen-Fahrten						Gesamt-Anzahl der Beiwagen-Fahrten					

Wagenführer **von** ... **bis** ... **Gesamtzahl der Hin- und Rückfahrten** **Zusammen Kilometer**

... **Motorwagen** ...

Schaffner ...... **von** ... **bis** .... **Beiwagen** ...

Zusammen ......

Schema V.

Unfälle oder Beschädigungen.

Name des Führers, mit welchem der Unfall eingetreten ist ....

» » Schaffners, mit » » » » » ....

Uhr { .... morgens / .... abends   Fahrt { Hin-, No. / Zurück-, No.

Ort (Strasse, Hausnummer u. s. w.) ....

Bezeichnung des Unfalls ....

....

....

Ursache ....

....

....

Zeugen (Namen und Adresse) ....

....

....

....

NB. Alle Unfälle oder Beschädigungen des Wagenkastens, z. B. zerbrochene Scheiben u. s. w., müssen ebenfalls in diesen Fahrzettel eingetragen werden.

Schema VI.

Elektrische Strassenbahn ....

Wochenbericht No. ....

für die Zeit vom .... bis 19

I. Betriebsleitung.

Allgemeiner Bericht.

Verkehr mit den Behörden.

II. Aeusserer Dienst.

1. Personal:

Kontrolleur ...., Wagenführer ...., Schaffner ....

2. Es wurden gefahren:

Linie	Motorwagen			Anhängewagen			Motor-wagen-kilometer	Anhänge-wagen-kilometer	Lampen-Brenn-stunden
	V.	N.	Mittel	V.	N.	Mittel			
Zusammen									

3. Betriebsergebnisse:

Es wurden verkauft .... Fahrscheine . . . = Mark ....

» wurde vereinnahmt durch Abonnements . . . . = » ....

» » » » sonstige Einnahmen . . = » ....

» wurden befördert in der Woche im Ganzen .... Personen.

» » » » » f. d. Wagenkilometer .... Personen.

4. **Besondere Vorkommnisse beim Betriebe:**

Es sind an .... Tagen zusammen .... Wagenfahrten ausgefallen. Gründe:

Es sind an .... Tagen zusammen .... Sonderwagenfahrten eingelegt worden. Gründe:

Sonstige Störungen des Betriebes.

Sonstige Vorkommnisse beim Betriebe.

III. Werkstättendienst:

Wagenmeister . . . .

Schlosser . . . .

Arbeiter . . . .

Wagenputzer . . . .

. . . . **Arbeiterstand** . . . . **Mann.**

IV. Vorkommnisse bei den Wagen.

Lfd. No.		Anzahl
1	Stromabnehmer zerbrochen	
2	Spiralen im Widerstand zerbrochen	
3	Holzringe im Kettenkasten gebrochen	
4	Anker durchgeschlagen	
5	Ankerlager warmgelaufen	
6	Obere Kontaktklemmen im Einschalter abgebrannt	
7	Kontaktringe im Einschalter abgenutzt	
8	Untere Kontaktfedern in den Einschaltern verschmort . . .	
9	Kurzschluss am Motor	
10	Kurzschluss im Einschalter	
11	Puffer zerbrochen	
12	Puffer verbogen	
13	Zusammenstösse mit anderem Fuhrwerk:	
	a) Bremsstangen verbogen	
	b) Reflektoren zerbrochen	
14	Schutzbleche an den Bahnräumern abgebrochen	
15	Glühlampen defekt geworden	
16	Tragfeder gebrochen	
17	Uebersetzungskette gerissen	
18	Lichtleitung im Wagen defekt geworden	
19		
20		
21		

b) Prüfungen und Messungen.

Mehrere grössere amerikanische Strassenbahngesellschaften erachten es als zweckmässig und wertvoll, im Büreau ihres Betriebsleiters einen Apparat anzubringen, welcher die auf den Strecken fortlaufend vor sich gehenden Wagenbewegungen auf einem Blatte Papier durch sichtbare, bleibende Zeichen darstellt, sodass der benannte Beamte jederzeit beobachten kann, ob die Fahrzeuge in allen Strecken regelrecht verkehren, oder ob und wo Hindernisse eintreten etc., und auf Grund dieser Beobachtungen stets in der Lage ist, unverzüglich abhelfende Verfügungen zu treffen. Die betreffende Einrichtung besteht aus einem im Dienstzimmer aufgestellten Chronographen, der eine angemessene Anzahl elektromagnetischer Schreibzeuge hat, von welchen jedes durch eine Drahtleitung mit einem auf einer bestimmten Strecke und Stelle angebrachten Stromschliesser und mit einer für alle Schreibzeuge gemeinschaftlichen Batterie in Verbindung steht. Jeder Wagen, der einen Stromschliesser passiert, macht dabei den letzteren thätig, demzufolge der betreffende Elektromagnet am Chronographen seinen Anker anzieht und auf einem mit bestimmter gleichmässiger Geschwindigkeit sich bewegenden Papierstreifen ein Zeichen hervorbringt. Die Auf- bezw. Abwickelung des Papierstreifens geschieht durch den sehr genau gehenden Chronographen, sodass die Länge des innerhalb einer bestimmten Zeit ablaufenden Papieres stets gleich bleibt und bekannt ist. Da anderseits ebenso die Zeitabstände bekannt sind, in welchen sich auf jeder Strecke die Wagen fahrplanmässig bewegen sollen, so lässt sich leicht berechnen, wieviel Zeichen bei regelrechtem Wagenverkehr innerhalb einer bestimmten Papierstreifenlänge erscheinen müssen. Umgekehrt erscheint sonach eine Abweichung vom Fahrplan festgestellt, sobald die Zeichen eines Schreibzeuges nicht in richtiger Zahl einlangen, und desgleichen kennzeichnet sich jede Art von Unregelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Fahrzeuge überhaupt durch ungleiche Abstände der Zeichen. Völliges Ausbleiben der Zeichen deutet schliesslich auf aussergewöhnliche Fahrteinstellungen oder auf Betriebsstörungen; kurz, der Papierstreifen bietet fortlaufend das genaue Bild des gesamten Wagenverkehrs und gewährt daher dem Betriebsleiter in der That einen wertvollen Behelf für die Überwachung des laufenden Fahrdienstes und die sofortige Abstellung auftretender Mängel. Die Nützlichkeit solcher Einrichtungen steht also wohl ausser Frage, doch lässt sich damit nur dann der erstrebte Zweck ganz erreichen, wenn die Streckenkontakte, bezw. die Schreibzeuge angemessen zahlreich gewählt werden, dann aber sind die erforderlichen vielen Leitungen — mindestens innerhalb europäischer Städte — eine schwerwiegende Schatten-

seite der Einrichtung, welche freilich durch den Umstand gemildert wird, dass jede der Leitungen nebenbei auch als Betriebstelephonlinie der Strassenbahngesellschaft mit benutzt werden könnte. Die Lindell Railway Company in St. Louis verwendet mit vorzüglichem Erfolge eine oben geschilderte Einrichtung, welche nach den Angaben des Betriebsleiters der genannten Gesellschaft, Herrn G. Baumhof von der Emerson electric Manufacturing Co. in St. Louis, Ma., geliefert worden ist. Der daselbst benutzte Chronograph (vergl. Scientific American Suppliment No. 1038, vom 23. November 1895) hat 30 in einer Linie nebeneinander angebrachte Schreibzeuge, die aber genügend weit voneinander abstehen, um die einzelnen Zeichenreihen ganz deutlich voneinander unterscheiden zu lassen. Die Schreibstifte sind Stahlnadeln, welche in der Bewegungsrichtung des Papierstreifens ein wenig federn; bei jeder Stromgebung durchstechen sie das Papier, weshalb an der unter den Schreibzeugen angebrachten Papierführungsrolle für jede Schreibnadel eine entsprechend tiefe Einkerbung angedreht ist. Der ca. 24 Zoll (60 *cm*) breite Papierstreifen läuft mit einer Geschwindigkeit von 4 Zoll (100 *mm*) in der Stunde und der wie ein Pult vor dem Beobachter liegende, sichtbare Streifenteil hat eine Länge von nahezu 9 Zoll (225 *mm*), sodass er jederzeit einen Überblick über die gesamte, innerhalb der letztverflossenen zwei Stunden stattgehabte Verkehrsabwickelung darbietet. Am Papierstreifen sind Querstriche vorgedruckt, welche Minuten bedeuten; die Zeit des Beginnes und des Abschlusses der Beobachtungen, bei welchen Anlässen das Uhrwerk einzurücken bezw. abzustellen ist, wird jedoch täglich erst mit Tinte vorgemerkt. Die beschriebenen Streifen werden aufbewahrt, um vorkommendenfalls auch noch nachträglich Feststellungen zu ermöglichen.

Die Prüfungen der Strassenbahnnetze im Betrieb, welche zur Sicherung des Betriebes vorzunehmen sind, haben sich auf die Erhaltung der Isolation der Speiseleitungen und des Fahrdrahtes und auf Konstanthaltung eines möglichst kleinen Widerstandes sowohl für den Fahrdraht, als auch für die Schienenleitung und auch auf den Zustand der Gleise und Wagen zu erstrecken.

Ist die Isolation defekt, so macht sich der Fehler erst allmählich bemerkbar; er wächst aber dann in der Regel rasch an und endet leicht in Kurzschluss, der durch die erforderliche Reparatur Betriebsstörungen verursacht. Hohe Widerstände der Leitungen bedingen höhere Leistung der Centrale, geringeren Wirkungsgrad, und, besonders bei der Schienenleitung, auch relativ hohe Differenzen in den Potentialen der verschiedenen Erdanschlussstellen, die verderblichen Einfluss auf Wasser- und Gasröhren und unangenehme Nebenwirkungen auf die Fallklappen der Fernsprechämter haben können.

Die Prüfung der Isolation ist verhältnismässig einfach, weil das Netz fast stets ein offenes ist. Frank B. Porter (vergl. »The Electrical World« 17. Juli 1897, S. 61 und ETZ 1898, Heft 5, S. 80) hat verschiedene Methoden im Detail beschrieben, die sich vollkommen mit Kallmann's Vorschlägen decken. Kallmann fasst die Anwendung der Differentialmethode auf Erdleitungs-, Übergangs- und Kontaktwiderstandsgrössen so auf, dass man nicht mittels einer der üblichen Brückenmethoden den Widerstandswert durch Vergleich mit einem bekannten Rheostaten ermittelt, sondern ihn mit direkter Niederspannungsmessung während des Betriebes unter Anwendung der Starkströme bestimmt, wie solche eben im Betriebsfalle auftreten. Vergl. ETZ 1898, Heft 41, S. 683 ff. u. Heft 42, S. 700 ff., sowie ETZ 1899, Heft 8, S. 163 ff.

Bei dem steten Anwachsen des elektrischen Bahnbetriebes nehmen auch die Störungen, die durch die vagabundierenden Ströme veranlasst werden, beständig zu. Nicht minder unangenehm als die elektromagnetischen Fernwirkungen dieser Ströme und in ihren Folgen vielleicht noch schwerwiegender sind ihre elektrolytischen Einwirkungen. Die zwischen den Gleisen der Strassenbahn und den Gas- und Wasserleitungsröhren auftretenden, wenn auch nur geringen Potentialunterschiede bedingen einen elektrolytischen Vorgang, der schliesslich mit der Zerstörung einer der Elektroden endet.

In dieser Beziehung erregte neben anderen Vorkommnissen gegen Schluss des Jahres 1898 der Bruch einer Wasserröhre von 1200 *mm* Durchmesser in Brooklyn Aufsehen, welcher, wie der Augenschein ergab, auf Elektrolyse zurückzuführen war. Es ist unter diesen Umständen erklärlich, dass staatliche und städtische Behörden eine gewisse Bürgschaft gegen das Auftreten allzu starker Erdströme verlangen.

Die Normen des englischen Board of Trade schreiben beispielsweise als höchsten Potentialunterschied zwischen zwei beliebigen Gleispunkten 7 V vor, zwischen Schienen und Rohrleitungen 1,5 V, wenn der Strom von den Rohrleitungen zu den Schienen übergeht, und 4,5 V bei umgekehrter Stromrichtung. Ihre Begründung findet die letztere Bestimmung darin, dass die elektrolytische Zersetzung der Röhren wesentlich gefährlicher ist als die der Schienen. Bemerkt möge werden, dass dieser Gesichtspunkt in Amerika bestimmend für die Anwendung der sogenannten »booster« gewesen ist, d. s. Zusatzdynamos, mittels deren das Potential der Röhren immer unter dem der Schienen gehalten wird.

Zur Würdigung der englischen Zahlen mögen im Folgenden zwei Versuchsergebnisse mitgeteilt werden. Eine Prüfung der Strassenbahn in Jersey City stellte zwischen den Gleisen und den

darunter eingebauten gusseisernen Wasserleitungs-Hauptröhren Potentialunterschiede bis 15 V fest. Im Gegensatz hierzu stehen die von Dr. Kallmann in Berlin angestellten Messungen, die als höchsten Potentialunterschied zwischen Schienen und Röhren $^1/_2$ V und zwischen verschiedenen Punkten des Gleises 2 V nachwiesen. Hier sind also die englischen Normen weit unterschritten.

Angesichts dieser grossen Unterschiede in den Versuchsergebnissen, die zu einem bedeutenden Teile der Ungleichwertigkeit in den Ausführungen der Strassenbahnen zuzuschreiben sind, tritt die Frage nach Massnahmen zur Verhütung oder Verminderung der Erdströme, sowie nach geeigneten Verfahren zum Messen der Erdströme und der für ihre Stärke massgebenden Grössen auf.

Von grosser Wichtigkeit für die angestrebte Einschränkung der Erdströme ist es, worauf schon die englischen Vorschriften hinweisen, dass die Potentialdifferenzen innerhalb des Gleises niedrig gehalten werden. Ein Mittel hierzu besteht darin, dass man zahlreiche Speise-

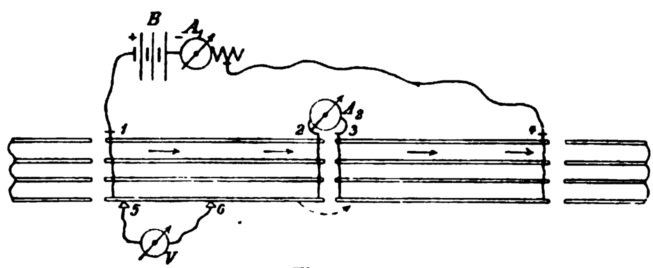


Fig. 505.

punkte anordnet — in Berlin nach vollendetem Ausbau mehr als 50 in einem durchschnittlichen Abstande von $2^1/_2$ *km* —, denen der Strom durch isolierte Hin- und Rückleitungsdrähte zugeführt wird. Weiterhin ist die Grösse des Leitungswiderstandes der zur Rückführung dienenden Gleise sowie des Übergangswiderstandes von den Schienen zur Erde von grossem Einfluss. Ein starkes Schienenprofil, vorzügliche, wenn möglich durch Schweissen hergestellte Schienenstossverbindungen, reichliche leitende Querverbindungen der Schienen und Gleise unter einander sind die Mittel, den Leitungswiderstand herabzudrücken. Der Übergangswiderstand zur Erde lässt sich dadurch erhöhen, dass man die Schienen in eine isolierende Schicht, wie Asphaltbeton, bettet. Im übrigen spielen die Beschaffenheit des Bodens, seine mehr oder minder grosse Feuchtigkeit und sein Salzgehalt eine wesentliche Rolle. Aus allem ergiebt sich, dass die Kontrolle der Widerstände von grosser Wichtigkeit ist.

Ein Verfahren, den Leitungs- und Erdwiderstand zu messen, ist in Fig. 505 veranschaulicht. Die unabhängige Batterie B schickt

Strom durch ein abgetrenntes Stück des Gleises. In der Mitte ist dieses Stück noch einmal dadurch geteilt, dass die Stossverbindungen gelöst und dann jedoch wieder durch das Amperemeter A_2 überbrückt sind. Das Amperemeter A_1 misst die Stärke eines der Akkumulatorenbatterie entnommenen Stromes. Dieser durchfliesst das Gleis und den Erdnebenschluss zwischen 1 und 4. In der Mitte zwischen 1 und 4, an der Stelle 2—3, erreicht der Nebenschlussstrom seine höchste Stärke. Das Amperemeter A_2 zeigt also eine geringere Stromstärke als A_1. Aus dem Unterschied ergiebt sich die Grösse des Erdstromes, wobei allerdings von dem Einfluss der Erhöhung des Schienenwiderstandes durch Einfügen des Amperemeters abgesehen ist. Kennt man die Spannung der Batterie und sind die übrigen Widerstände des Stromkreises bestimmt, so lässt sich aus den gemessenen Stromstärken der Gesamtwiderstand des Gleises berechnen.

Der Widerstand einzelner Schienenstücke lässt sich mit Hilfe des Milli-Voltmeters V, das durch die Metallspitzen 5 und 6 in Verbindung mit den Schienen steht, bestimmen, indem man den Potentialunterschied zwischen zwei Punkten misst. Für Berlin ergab sich als durchschnittlicher Wert des Widerstandes rd. 0,0075 Ohm für 1 *km* Doppelgleis. Um den Übergangswiderstand zur Erde und den Erdwiderstand festzustellen, öffnet man die Verbindung zwischen dem einen Gleisende und dem einen Pol der Batterie und verbindet letzteren mit der Erde. Der Strom fliesst dann durch die Schienen bis zur Unterbrechungsstelle, tritt dort aus, verzweigt sich im Gleisnetz und geht durch die Erde oder durch Rohrleitungen wieder zur Batterie zurück. Aus der gemessenen Stromstärke und Spannung lässt sich die Summe der Widerstände der Schienen und des Erdwiderstandes berechnen und, da der Schienenwiderstand auf Grund der ersten Messung bekannt ist, die Grösse des Erdwiderstandes bestimmen.

Das im Vorstehenden gekennzeichnete Verfahren gestattet, die absolute Grösse der Leitungs- und Erdwiderstände zu messen; in der Praxis tritt jedoch das Bedürfnis hervor, zur Kontrolle eines bestehenden Gleisnetzes etwaige Änderungen der Leitungs- und Erdwiderstände festzustellen. Für diese Zwecke genügen Vergleichswerte, die einfacher zu bestimmen sind, indem man an einer Reihe wichtiger Strecken die Grösse der Erdströme feststellt. Das vorstehend beschriebene Verfahren setzt voraus, die elektrische Verbindung des Gleises an verschiedenen Stellen aufzuheben, welche Bedingung nur schwierig oder gar nicht zu erfüllen ist. Für seine praktischen Messungen hat Dr. Kallmann daher ein Verfahren ausgebildet, bei dem es nicht nötig ist, die Gleise zu unterbrechen. Der

Grundgedanke dieser Messungen ist wie vorher, den an einer bestimmten Schienenstrecke gegenüber dem Sollwert fehlenden Strom zu messen. Bei dem einen Verfahren wird ein Differenzialgalvanometer angewendet, dessen Anordnung Fig. 506 zeigt. G ist das Galvanometer, dessen eine Wickelung 5 —7 von dem Strom der Schienenstrecke 1—2, dessen andere Wicklung 6—8 von dem Strom der Strecke 3—4 durchflossen wird. Die Widerstände ϱ werden so abgeglichen, dass das Galvanometer keinen Ausschlag giebt, wenn die Stromstärken gleich sind. Wenn die Stromstärke in der einen Schienenstrecke sich ändert, so giebt das Galvanometer einen Ausschlag.

Ähnlich ist die Doppelbrückenschaltung, Fig. 507. Wenn die Widerstände der beiden als Messwiderstände benutzten Schienenstrecken 1—2 und 3—4 ungleich, die Ströme in ihnen aber gleich sind, so lässt sich durch Abgleichen der Hilfswiderstände ϱ der Ausschlag des sehr empfindlichen Milli-Voltmeters G auf Null bringen. Wenn die Ströme verschieden sind, so entsteht bei denselben Wider-

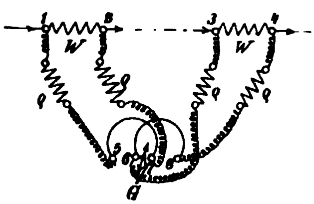


Fig. 506.

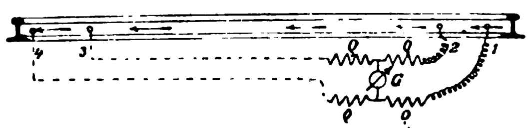


Fig. 507.

ständen ein Ausschlag. Bevor man die Einrichtung benutzt, müssen die Hilfswiderstände abgeglichen und das Voltmeter geaicht werden. Zu letzterem Zweck werden Akkumulatoren angewendet und die Stromstärken durch besondere Amperemeter gemessen.

Ist eine Reihe von Kontrollstrecken, die durch die Nachbarschaft von Gas- oder Wasserleitungsröhren oder ihre Lage in verhältnismässig gutleitendem Erdreich besonders hervortreten, mit derartigen Doppelbrückenschaltungen dauernd ausgerüstet, so ist es jederzeit leicht, mit Hilfe eines empfindlichen tragbaren Galvanometers die Stärke der vagabundierenden Ströme zu messen und eine aussergewöhnliche, den Röhren der Stadt gefahrdrohende Zunahme derselben rechtzeitig zu erkennen.

In Ergänzung dieser Verfahren sind noch einige weitere Messmethoden erwähnenswert. Während die Kallmann'sche Methode nur zwischen eng begrenzten Stromentnahmestellen messen kann, ist die von Jetter und Harrick angegebene Methode auf den Spannungsvergleich bei bestimmter Stromabnahme begründet. Die schema-

tische Darstellung dieser Messungen ist in Fig. 508 gegeben, wobei sich das für die Messung notwendige Voltmeter in der Station befindet und ein besonderer Prüfdraht bis an die Stelle geführt werden muss, an der man die Messungen vornehmen will. Eine derartige Prüfung kann indessen nicht während des Betriebes erfolgen.

Ein Wasserwiderstand soll hier den Bahnstrom ersetzen und 50—150 Amp. dauernd durchlassen. Bei konstanter Spannung soll der Strom, dem jeweilig eingestellten Widerstand entsprechend, den Stromkreis durchfliessen, während Zwischenstufen des Betriebsstromes durch Abänderung der Generatorspannung erhalten werden können, sodass der Wasserwiderstand nach einmaliger Einstellung nicht wieder abgeändert zu werden braucht. Es ist dadurch möglich, den Widerstand des Fahrdrahtes und der Schiene bei Belastungen zwischen 50 und 150 Amp. festzustellen. Den Spannungsmesser schaltet man für die Prüfung einmal auf den Fahrdraht und zum andernmale auf die Fahrschiene, und erhält so die Spannungsdifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt der zu prüfenden Leitung. Bei dieser Anordnung ist der Prüfende an seinen Standpunkt nahe der Kraftstation gebunden.

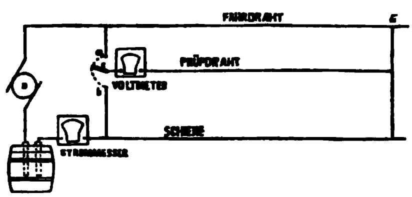


Fig. 508.

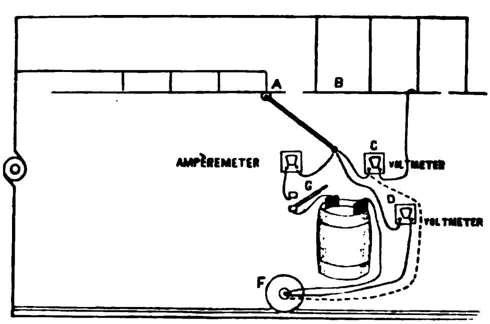


Fig. 509.

Die speziell von Harrick ausgebildete Messungsart trennt den Widerstand der Linienleitung von dem der Erdleitung. Es kann aber auch der Widerstand beider zusammen bestimmt werden.

Erstere Methode ist dort anwendbar, wo Stromunterbrecher in der Fahrdrahtleitung vorhanden sind und wo auf den Sektionen, die bei diesen Stromunterbrechern enden, keine Wagen laufen, um auch während des Betriebes Messungen machen zu können.

Der in der Fig. 509 angebrachte Wasser-Widerstand kann auch hier leicht aus einem Ölfasse hergestellt werden, dessen Deckel entfernt wird und in dessen Querrichtung man Schieferstücke bringt, um die Berührung der zwei Eisenplatten von je 3,1 *mm* Dicke,

400 *mm* Breite und 600 *mm* Länge zu verhindern. Das Fass wird hierauf $^3/_4$ mit Wasser gefüllt. Dieser Wasserwiderstand kann auf der vorderen Plattform, die Instrumente können innerhalb des Wagens und die Verbindungen so angebracht werden, wie in Fig. 510 angegeben ist. Zu diesem Zwecke kann jeder Betriebswagen oder ein besonderer Messwagen benutzt werden. Bei Benutzung des Wasser-Widerstandes wird man mit Sodalösung zur Widerstandsverminderung des Rheostaten gute Ergebnisse in Bezug auf konstante Stromstärke erzielen.

Der Strom soll durch den Wasserwiderstand fliessen, bis das Wasser gleichmässig erwärmt und dem Siedepunkt nahe ist, worauf der Strom beinahe konstant wird.

Ist der Wasserwiderstand wie angegeben hergestellt, so wird er annähernd 200 Amp. bei 500 Volt durchlassen.

Um nun die genannten Messversuche ohne einen Spannungsprüfdraht zu machen, lässt man den Wagen kurz vor einem Fahrdrahtunterbrecher halten und verbindet mittels eines Hakens die nächste Sektion B mit der Apparatenreihe. Der Wagenkontakt muss indessen noch an A anliegen. Der Stromkreis wird alsdann zwischen dem Haken und dem Wagenkontakt durch einen Spannungsmesser C geschlossen. Meistens wird die bequemste Anschlussstelle für den Prüfstromkreis an der Wagensicherung sein. Der von dem Wagenkontakt entnommene Hauptstrom wird durch den Widerstand geführt und dann mit dem Erdpol der Motoren verbunden.

Wenn der Strom von dem Wagenkontakt zur Erde geht, ist die Spannungsdifferenz zwischen dem Kontakt A und dem stromlosen Fahrdrahtteil B der Spannungsverlust, der durch den Widerstand der Speiseleitung und dem den Widerstand speisenden Fahrdrahtteile hervorgebracht wird. Der stromlose Teil B wirkt hier als Spannungsdraht. Der Spannungsverlust dieser kupfernen Leiter wird an dem Spannungsmesser C abgelesen. Spannungsmesser D zeigt den Spannungsabfall im Widerstand. Die gleichzeitige Ablesung von C plus D, von der ebenfalls zu gleicher Zeit aufgenommenen Stationsspannung abgezogen, ergiebt den Spannungsverlust der Erdrückleitung. Bringt man den Spannungsmesser C in Verbindung mit B und F, wie durch die punktierte Linie angedeutet ist, und öffnet man den Umschalter G, so liest man die Stationsspannung ab. Wenn man von dem Übergangswiderstand zwischen Fahrdraht und Wagenkontakt absieht, kann man auch ohne den punktiert gezeichneten Draht die Stationsspannung bei Spannungsmesser D ablesen. Der Übergangswiderstand kann in Anbetracht des geringen Messstromes und der ruhenden Lage des Kontaktes vernachlässigt werden.

Bei diesem Versuche ist es wünschenswert, sowohl bei Leerlauf, als auch bei Vollbelastung die Spannung am Schaltbrett konstant zu erhalten. Der Spannungsmesser C muss genügend lange an B und F angelegt sein, um die höchste Spannung und die durchschnittliche Stationsspannung ersehen zu können. Wenn der Wagenkontakt alsdann umgestellt und der Fahrdraht A als Spannungsdraht benutzt wird, kann der Widerstand des Stromkreises B in derselben Weise bestimmt werden.

Sollte die Stationsspannung infolge Wechsels der Belastung bei Einschaltung des Wasser-Widerstandes nicht konstant erhalten werden können, so kann man die Erdleitungsverluste in folgender Weise direkt ablesen: Man öffnet die Speiseleitungsschalter der als Prüfleitung zu benutzenden Speiseleitung, und lege eine der Klemmschrauben des Schalters an Erde bis zu der in der Station endigenden Erdleitungsammelschiene. Dieses kann durch einen Abschmelzdraht oder durch ein leichtes Abschmelzband, welches in die Erdrückleitung eingeschaltet ist, bewerkstelligt werden, sodass diese, ohne Schaden zu verursachen, abschmelzen, wenn irgend eine falsche Schaltung auf der Linie vorgekommen sein sollte.

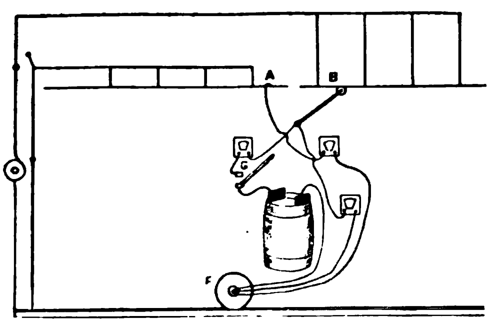


Fig. 510.

Aus Fig. 510 sind die eben genannten Verbindungen ersichtlich. Schaltet man den Strom durch den Wasserwiderstand wieder ein, so ergiebt die Spannung zwischen A und F den Schienen- und Erdleitungsverlust in Volt, der auf diese Weise, unabhängig von der Stationsspannung, gemessen werden kann.

Wenn zwischen dem Schaltbrettwärter und dem die Versuche Leitenden bestimmte Verabredungen getroffen worden sind, können diese Messungen durch Öffnen und Schliessen des Stromes am Widerstandschalter G bewerkstelligt werden, wodurch zugleich der Station Signale gesandt werden können, die an den Bewegungen des Strommessers ersichtlich sind.

Da, wo die Erde teilweise zur Leitung des Stromes benutzt wird, ist diese Erdleitung an gewisse Bedingungen geknüpft.

Die Feuchtigkeit der Erde, die Eigenart des Untergrundes und des Bodens, auf welchem die Schiene verlegt ist, sowie die Stärke des hindurchgehenden Stromes beeinflusst den Widerstand dieser ltung. Trockener Thon ist der schlechteste Leiter, Sand diesem

am nächsten, und Lehm ist der beste Leiter. Ist der Boden mit Wasser durchtränkt, so fällt der Widerstand der Erdleitung schnell in demselben Masse, als die Stromstärke zunimmt. Dort, wo Wasser unter der Schienenbettung vorhanden ist, wird man bei trockenem Wetter finden, dass die Schienen und der dieselben unmittelbar umgebende Boden feucht sind. Über Salzmoorwiesen geführte Schienenstrecken haben den geringst gemessenen Erdleitungs-Widerstand. Derselbe erlitt keine Veränderung, als die elektrische Verbindung der Schienen zwischen dem Versuchswagen und der Station unterbrochen wurde, und da Wasserleitungs-Hauptrohre, die als Hilfsleiter hätten dienen können, in der Nähe nicht vorhanden waren, so dürfte der geringe Widerstand von der Beschaffenheit des Bodens und dem Vorhandensein des Salzes abhängig gewesen sein. Die schlechteste Erdleitung wurde dort gefunden, wo das Gleis über eine dünne Thonschicht mit unterliegendem Felsgrunde geführt war.

Bei ausgedehnten Linien ist es bisweilen wichtig, die Fahrdraht- und Erdleitungsverluste am Ende der Linie, wo diese Methode nicht angewendet werden kann, zu bestimmen.

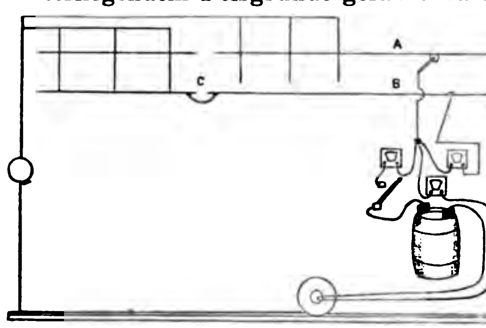


Fig. 511.

Die in Fig. 511 angegebene Methode ist bei doppeltem Fahrdraht verwendbar. Es werden alle Querverbindungen zwischen den beiden Fahrdrähten A und B hinter einem Streckenunterbrecher C des ersten Fahrdrahtes unterbrochen. Die Leitung B wird dadurch ein Spannungsprüfdraht zur Station. Die Messungen werden in derselben Weise ausgeführt, wie vorher dargestellt ist.

Treten bei Bahnanlagen Störungen in der Isolation auf, die sich durch Herausspringen der die Speiseleitungen schliessenden automatischen Ausschalter am Schaltbrett der Maschinenstation bemerkbar machen, d. h. es sprechen die letzteren jedesmal an, wenn die Stromstärke in der betreffenden Speiseleitung ein gewisses Maximum überschreitet, so müssen in der Station Vorrichtungen geschaffen werden, diese Störungen zu erkennen, und dieselben gefahrlos für die Stations- und Streckenbeamten, als auch für den äusseren Verkehr zu beseitigen.

Zumeist rühren diese Störungen von Defekten auf den Motorwagen, sei es in den Schaltern — durch Überspringen der Funken —,

sei es durch Sich-Berühren von Leitungen verschiedener Polarität oder Fehlern an den Motoren, her.

Oftmals sind es auch nur Wagenanhäufungen und dadurch herbeigeführte Überlastungen der Speiseleitung, welche sich in gleicher Weise bemerkbar machen.

In den seltensten Fällen liegt ein Defekt der Speise- oder Fahrleitung selbst vor, wie auch Isolationsfehler in den Aufhängungen bei der heutigen Ausführungsweise der Oberleitung weniger zu befürchten sind.

Vor dem Wiedereinlegen eines herausgegangenen selbstthätigen Schalters bezw. Schliessen der Speiseleitung durch den Handschalter ist es nun ausserordentlich wichtig, einen Anhalt dafür zu haben, ob der Kurzschluss bezw. die Ursache für das Funktionieren des Automaten noch besteht oder bereits behoben ist. Im ersteren Falle bewirkt eine Einschaltung die sofortige Wiederholung des Kurzschlusses, der sich im Werk durch stossweise Überlastung der Maschinen und Feuern der Dynamobürsten, auf der Strecke durch Brände oder Schmelzwirkungen an der Fehlerstelle äussert.

Es ist jedenfalls bedenklich, die Probe auf die Isolation der Leitung durch öfteres Einlegen des automatischen Schalters zu machen, da leicht grössere Störungen dadurch hervorgerufen und Menschen in Gefahr gebracht werden können.

Eine häufige Beanspruchung der automatischen Ausschalter bei Kurzschluss bringt aber auch eine rasche Abnutzung der Kontaktflächen durch die heftigen Flammenwirkungen mit sich und kann leicht zu einem Versagen der Apparate und schweren Betriebsstörungen führen.

In solchen Momenten kommt es weniger auf die zahlenmässige Feststellung des noch vorhandenen Isolationswiderstandes, als vielmehr auf eine rasche Erkennung an, ob noch ein direkter Kurzschluss vorhanden ist oder nicht.

Eine ruhige Messung der Isolation einer Strassenbahnleitung im Betriebe ist kaum ausführbar, da sie gestört wird durch die Versuche der Wagenführer, ihre Wagen wieder in Bewegung zu setzen, also die Motoren stufenweise durch die Anlasswiderstände einzuschalten. Sodann ergeben die bei Dunkelheit eingeschalteten Stromkreise der Wagenbeleuchtung eine dauernde Erniedrigung des messbaren Isolationswiderstandes zwischen Fahr- und Schienenleitung, je nach der Anzahl der die Strecke befahrenden Wagen, auf wenige Hundert Ohm.

Werden nun die Wagenführer angehalten, beim Ausbleiben des Stromes die Motoren auszuschalten und das Anfahren nicht früher zu versuchen, als bis die eingeschaltete Wagenbeleuchtung wieder

funktioniert, so wird stets ein messbarer Widerstand von vielleicht 50—100 Ohm noch vorhanden sein. Den hier auftretenden Verhältnissen entspricht der Apparat in Fig. 269 und 270 auf Seite 267.

Transportabler Apparat zum Messen der Leitungsfähigkeit von Schienenverbindungen.

Lord Kelvin hat einen bequemen tragbaren Apparat zur Messung der Leitungsfähigkeit von Schienenverbindungen konstruiert. Derselbe beruht darauf, dass man die Spannungsverluste auf verschiedenen Strecken des Gleises in der Weise feststellt, dass man die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten mit bekanntem Abstand misst, wobei eine Messung auf einen Teil einer ganzen Schiene (d. h. ohne Schienenverbindung) sich erstreckt. Das Verhältnis der Spannungsunterschiede ergiebt den Wert der Leitungsfähigkeit der Schienenverbindung als Funktion einer bestimmten Länge der ganzen Schiene. Der Apparat besteht aus einem Massstab, auf welchem sich zwei mit Spitzen versehene Schieber entlang bewegen können; diese sind von dem Massstab isoliert, und die Spitzen werden bei der Messung auf die Schienen gestellt. Der mit der Messung Betraute trägt den Massstab mit der einen Hand, indem er denselben an einem senkrechten Stiel festhält. Die mit Klemmen versehenen Schieber sind mittels biegsamer Leitungsschnüre mit den Klemmen eines Galvanometers, System d'Arsonval verbunden, welches einen Magneten und einen beweglichen Rahmen besitzt und dessen Skala Millivolt anzeigt. Man unterhält beim Messen einen konstanten Strom, geht langsam an den Gleisen entlang und setzt die Spitzen der Schieber abwechselnd auf einen Teil einer ganzen Schiene und auf eine Strecke auf, welche zwischen den beiden Spitzen eine Schienenverbindung enthält. Vorher zusammengestellte Tabellen ermöglichen es, die Leitungsfähigkeit der Schienenverbindungen durch Gegenüberstellung des Stromverlustes zu bestimmen. Das Galvanometer befindet sich in einem Kasten, welchen der kontrollierende Beamte mittels eines Riemens um den Hals trägt, der Massstab ist mittels Leitungsschnüre mit dem Galvanometer verbunden. An den Schienen entlanggehend, vergrössert oder verkleinert man den Abstand zwischen den beiden mit Spitzen versehenen Schiebern, um auf diese Weise die Empfindlichkeit zu verändern. Der die Messung vornehmende Mann hält mit der einen Hand den Stiel des Massstabes, während er mit der anderen auf einem Blatt Papier die Ablenkung des Galvanometers vermerkt. Das Papierblatt ist mittels einer Feder festgeklemmt, sodass das Niederschreiben der Beobachtungen auch bei windigem Wetter ohne Schwierigkeit erfolgen kann.

Die Dämpfung ist beim Galvanometer eine sehr vollkommene, und man ist daher imstande, die Messungen sehr schnell vorzunehmen. Nach jeder Ablesung, wenn der Beamte im Begriff ist, sich in Bewegung zu setzen, dreht er einen am Galvanometer angebrachten Knopf, um den beweglichen Rahmen festzuhalten und um jede Störung in Bezug auf die Aufhängung beim Übergang von der einen Schienenverbindung zur anderen zu vermeiden. Der bewegliche Rahmen wird nur während der Ablesungen ausgelöst. Die Aufzeichnungen auf dem Papier beziehen sich auf folgende Punkte: Auf das Gleis (aufsteigend oder abfallend), auf den Schienenstrang (rechter oder linker), auf die Ablenkung auf einer ganzen Schiene und auf diejenige bei den Schienenverbindungen. Sind die Spitzen auf einen Teil der Schiene, welcher keine Schienenverbindung besitzt, aufgesetzt, und zeigt das Galvanometer eine übermässige Ablenkung, so lässt dies auf einen Schienenbruch schliessen. Der Deckel des Kastens ist als Schreibpult, auf dem das Massformular liegt, ausgebildet. Der Apparat wird von der Firma James White in Glasgow hergestellt.

Profilmasse.

Der königliche Kommissar für elektrische Bahnen im Königreich Sachsen hat aus mehrjährigen Betriebserfahrungen heraus einzuhaltende Mindestmasse für Radreifen-, Spurkranz-, Fahrschienen- und Fahrdraht-Profile herausgegeben, welche als Anhaltspunkte dienen können.

a) Für Radreifen.

An der schwächsten Stelle 20 *mm* Dicke bei Raddrücken von zwei Tonnen und mehr; bei weniger als zwei Tonnen 18 *mm*.

b) Für Spurkränze.

1. Von der Lauffläche aus gemessen, 12 *mm* Höhe.
2. In 10 *mm* Höhe: das durch den Raddruck in Tonnen gegebene Vielfache von 3 *mm* als Dicke.
3. Zwischen den in 2 und 10 *mm* Höhe liegenden Spurkranzprofilpunkten soll weder die Sehne, noch ein nach aussen konvexer Teil der Profillinie weniger steil als 60° gegen die Horizontale verlaufen.

c) Für Rillenschienen.

1. Die Rillenwandungen zwischen 4 und 10 *mm* Tiefe unter der Lauffläche mindestens 60° gegen die Horizontale geneigt.
2. Lage der Zwangschienenoberkante nicht mehr als 2 *mm* unter der Laufflächenhöhe.

d) Für den Fahrdraht.

1. An der schwächsten Stelle noch drei Viertel des Durchmessers und drei Viertel der vollen Querschnittfläche.

2. Durchhang genügend, um für den unverletzten Draht jederzeit mindestens vierfache Sicherheit zu geben.

(Wo dies mit einmaliger Spannung nicht zu erreichen ist, müssen den Temperaturen folgende Nachspannungen eintreten.)

Zugkraftmesser.

Am Verbandstag in Kiel (1900) führte Gisbert Kapp das Modell eines Zugkraftmessers für elektrische Bahnwagen vor, dessen Wirkung und Einrichtung bemerkenswert ist, weil er mit den einfachsten Mitteln die weitgehendsten Bedürfnisse dieser Art befriedigen kann. Kapp sagt in seiner diesbezüglichen Niederschrift (ETZ 1900) etwa das folgende:

Im Wagen wird parallel zu den Schienen ein Rohr gelagert, dessen Enden durch aufrecht stehende Schenkel gebildet werden. Denken wir uns die Bahn wagerecht und das Rohr mit Wasser gefüllt bis zu einem auf einem der Schenkel verzeichneten Punkte, den wir als Nullpunkt betrachten wollen. Um den Wasserstand beobachten zu können, wird dieser Schenkel durch ein Glasrohr gebildet. Wird das Rohr geneigt, so ändert sich der Wasserstand proportional mit der Tangente des Neigungswinkels und man kann so auf dem Glasrohr nach oben und nach unten vom Nullpunkt eine Skala empirisch vorzeichnen, deren Teilstriche den Steigungen 1 : 1000, 2 : 1000 u. s. w. entsprechen. Die Entfernung der Teilstriche von einander hängt ab von den Weiten der Schenkel und der Länge des horizontalen Rohres. Steht nun der Wagen auf geneigter Bahn still, wobei der Apparat, wie eben bemerkt, im Wagen so gelagert ist, dass das Rohr den Schienen parallel liegt, so zeigt der Wasserstand mit genügender Genauigkeit die parallel zur Fahrbahn wirkende Schwerkraftskomponente in Kilogramm für die Tonne rollenden Gewichts an.

Die Genauigkeit ist nicht absolut, weil der Ausschlag des Wassers der Tangente, die Schwerkraftskomponente jedoch dem Sinus des Steigungswinkels proportional ist. Der Fehler ist jedoch selbst bei beträchtlichen Steigungen verschwindend klein. So ist z. B. bei 50 ‰ Steigung der Unterschied zwischen Tangente und Sinus $^1/_{750}$, also 0,13 % und bei der höchsten in Strassenbahnen vorkommenden Steigung von etwa 100 ‰ ist er $^1/_{185}$, also 0,54 % des angezeigten Wertes. Es kann also derjenige Teil der Zugkraft, welcher zur Überwindung der Schwerkraftskomponente dient, dann ohne Weiteres am graduierten Glasrohr abgelesen werden, wenn der Wagen mit konstanter Geschwindigkeit eine gleichbleibende Steigung hinanfährt.

Nun denken wir uns den Wagen mit variabler Geschwindigkeit auf horizontaler Strecke fahrend. Der auf die horizontale Flüssigkeitssäule wirkende Beschleunigungsdruck bringt einen Ausschlag des Wasserspiegels hervor. Ist l die Länge des horizontalen Rohres und h die Höhendifferenz der Wasserspiegel in beiden Schenkeln, so besteht die Beziehung

$$l \frac{p}{g} = h,$$

wobei p die dem Wagen mitgeteilte Beschleunigung und g die Beschleunigung der Schwerkraft bedeutet. Da $\frac{p}{g}$ immer kleiner als 1 ist, so kann man setzen

$$\frac{p}{g} = \sin \beta,$$

wobei β jener Winkel ist, um den man den stillstehenden Apparat neigen muss, damit er den gleichen Ausschlag anzeigt, wie bei Beschleunigung auf horizontaler Bahn. Es lässt sich also auch jener Teil der Zugkraft, welche zur Beschleunigung des Wagens verwendet wird, an der empirisch graduierten Skala ablesen, sodass der Wasserstand ohne Weiteres die für Steigung und Beschleunigung zusammen nötige Zugkraft in Kilogramm für die Tonne rollenden Gewichts angiebt.

Als Durchschnittswert für die Beschleunigung kann man bei Strassenbahnen 0,4 nehmen, während 0,75 wohl gelegentlich erreicht wird, aber mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit der Fahrgäste kaum überschritten werden darf. Beim Bremsen und besonders wenn die Notbremse gebraucht wird, kann jedoch dieser Wert erheblich überschritten werden. Soll der Apparat zur Bestimmung der Zugkraft des Motors dienen, so wird man wohl p = 0,75 als äusserste Grenze der Beschleunigung ansehen können. Soll jedoch die Bremswirkung untersucht werden, so müsste eine grösste Verzögerung von etwa 1,40 auf horizontaler Strecke angenommen werden.

Wir haben also z. B. bei 50‰ Steigung und 0,4 Beschleunigung

$$\sin \alpha = 0{,}05,$$

$$\sin \beta = \frac{0{,}4}{9{,}81},$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 0{,}0907.$$

Hätte der Apparat keinen Fehler, so müsste er eine Niveaudifferenz von 90,7 *mm* anzeigen. In Wirklichkeit zeigt er eine Niveaudifferenz von

$$1000 \, tg \, (\alpha + \beta)$$

an, die sich zu rund 91 *mm* berechnet. Der Apparat zeigt also um 0,3 *mm*, das ist $^1/_3$ %, zu viel an. In ähnlicher Weise kann man den Fehler für andere Betriebsbedingungen berechnen und erhält so die folgenden Tabellen für Anfahren und Bremsen.

Tabelle der Fehlergrenze beim Anfahren.

Profil der Bahn	horizontal		steigend um		fallend um	
	—	—	50 ‰	100 ‰	50 ‰	100 ‰
Beschleunigung . .	0,4	0,75	0,75	0,4	0,75	0,4
Fehler in Prozenten .	0,00	0,29	0,60	0,82	0,23	0,38

Tabelle der Fehlergrenze beim Bremsen.

Profil der Bahn	horizontal		steigend um		fallend um	
	—	—	50 ‰	100 ‰	50 ‰	100 ‰
Verzögerung . . .	0,75	1,4	0,75	1,4	0,75	0,4
Fehler in Prozenten .	0,29	1,03	0,23	0,80	0,60	0,82

In allen Fällen sind die Fehler entweder kleiner oder von derselben Grössenordnung wie die Ablesungsfehler, sodass der Apparat als für praktische Zwecke genau angesehen werden kann.

Eine andere und zwar grössere Fehlerquelle liegt darin, dass bei Bergfahrt und beim Anfahren die vorderen Wagenfedern etwas entlastet, die rückwärtigen etwas stärker belastet werden, während bei Thalfahrt und beim Bremsen das Umgekehrte eintritt. Infolge dieses Umstandes bleibt das Rohr nicht den Schienen parallel, sondern nimmt eine kleine Neigung an. Je kleiner der Radstand und je höher der Schwerpunkt des Wagens über den Stützpunkten der Federn ist, umsomehr muss der Wagen unter der Einwirkung der Zug- oder Bremskraft kippen. Auch die ungleiche Verteilung der Last kann ein solches Kippen hervorbringen. Es sind das Fehlerquellen, die nicht allgemein sondern nur von Fall zu Fall festgestellt werden, aber nur einige Prozente betragen können.

Der Apparat zeigt unmittelbar nur jenen Teil der Zugkraft an, der für Steigung und Beschleunigung nötig ist, nicht aber den zur Überwindung des Reibungswiderstandes nötigen Rest. Um diesen zu finden, verfährt man folgendermassen. Man lässt den Wagen auf einer möglichst ebenen Strecke auslaufen und liest den Wasserstand ab, der unmittelbar die verzögernde Kraft der Schienen, Getriebe und Motorreibung angiebt. Um den Einfluss einer kleinen etwa vorhandenen Steigung zu eliminieren, empfiehlt es sich, den Versuch in beiden Fahrrichtungen zu machen und immer an derselben Stelle der Strecke abzulesen. Das Mittel der Ablesungen ist der sogenannte Traktionskoëffizient, ausgedrückt in Kilogrammen für die Tonne rollenden Gewichts. Hat man diesen Koëffizienten bestimmt, so braucht man nur die Skala um einen entsprechenden Betrag zu verschieben, um ohne Weiteres die ganze Zugkraft an ihr ablesen zu können.

Die eben beschriebene Form des Apparates eignet sich ganz gut zum festen Einbau in einen Motorwagen, wobei das Rohr so lang

sein kann, wie der Wagenkasten, und das Wasserstandsrohr an irgend einer passenden Stelle längs der Endwand hoch geführt werden kann. Dieses aufrechte Rohr kann auch mit einem Schwimmer versehen werden, der einen Schreibapparat bethätigt, sodass man eine bleibende Aufzeichnung der Zugkraft auf einem Papierstreifen erhält. Der Streifen wird wie bei registrierenden Instrumenten über eine Trommel geführt, die durch Sperrkegel und Elektromagnet bei jeder vollendeten Umdrehung eines der Laufräder um einen bestimmten Betrag vorgeschoben wird. Man erhält so eine Kurve der Zugkraft als Funktion des Weges. Die Fläche dieser Kurve ist ein Mass der Arbeit für die Tonne rollenden Gewichts. Statt ein Wasserstandsrohr als Druckzeiger zu benutzen, kann man auch für diesen Zweck ein entsprechend graduiertes Manometer verwenden.

Wie man sieht, ist die praktische Verwendbarkeit des Apparates ebenso vielseitig, wie die Ausgestaltung der Idee. Die konstruktive Durchbildung des Zugkraftmessers, der zum D. R. P. angemeldet wurde, bleibt noch der Zukunft überlassen.

6. Technische Betriebsvorschriften.

Dieselben sind für das Personal dadurch geboten, dass der elektrische Betrieb mit allen seinen Funktionen in ein Grosses und Ganzes eingreift und es erforderlioh macht, dass jeder das Seinige zur Regelung und Ausgleichung beiträgt.

Um auch hierin einige praktische Winke zu geben, wählen wir einige Vorschriften bewährter Anlagen als Anhaltspunkte zur Aufstellung von Dienstvorschriften.

Dienstvorschriften für den Betrieb der Kraftstation.

Die allgemeinen Verhaltungsmassregeln über die Vorschriften bei Bedienung und Wartung der Dampfkessel, Dampfmaschinen, Pumpen, Kondensationsanlagen, Rohrleitungen u. s. w. können hier fortbleiben, weil solche Angaben sich in allen anderen technischen Betrieben in vollendeter Form vorfinden. Über die Bedienung und Wartung der Dynamos, der Schaltbretter und der Motoren ist das Folgende zu nennen:

1. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass bei Riemenantrieb die Riemen stets die richtige Spannung haben und beim Nachspannen ihren Lauf in der Mitte der Riemenscheibe behalten.

2. Das in den Lagern der Dynamos und Elektromotoren befindliche Öl ist etwa alle 12 bis 14 Tage zu erneuern. Während des Laufens der Maschinen muss der Wärter sich ab und zu davon überzeugen, dass die Schmierringe der zumeist in Anwendung ge-

brachten Ringschmiervorrichtung sich mit der Welle drehen und nicht festgelaufen sind, weil die Folge ein baldiges Warmlaufen der Welle sein würde.

3. Der Stromwender (Kommutator) bei Gleichstromerzeugern ist während des Betriebes von Zeit zu Zeit etwas einzuölen. Nach Beendigung des Betriebes ist derselbe mit einem in Petroleum getränkten Lappen abzureiben und alsdann trocken abzuwischen. Schmirgeln des Stromwenders ist ausdrücklich zu verbieten.

4. Die Kohlenbürsten sind so einzustellen, dass dieselben ganz gleichmässig auf dem Umfang des Stromwenders verteilt sind, also genau gleichen Abstand voneinander haben. In der Längsrichtung des Stromwenders sind dieselben dagegen so zu verteilen, dass die ganze Cylinderfläche zur Wirkung bezw. Abnutzung kommt. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass die Bürstenhalter selbst niemals mit dem Stromwender in direkte Berührung kommen. Auch darf kein Teil der Bürstenhalter über das Ende der Bürstenhalterbolzen hervorstehen, damit jede Berührung der Bürstenhalter mit dem rotierenden Anker ausgeschlossen ist.

5. Soll eine Nebenschluss-Dynamomaschine zur Stromabgabe auf das Leitungsnetz geschaltet werden, so ist zunächst das Maschinenvoltmeter auf die betreffende Maschine einzustellen. Alsdann ist die Kurbel des Nebenschlussregulators ganz allmählich aus der Nullstellung herauszudrehen und dadurch der Regulierwiderstand nach und nach so weit auszuschalten, bis die erforderliche Betriebsspannung erreicht ist. Nunmehr wird der Schalthebel mit der Hand eingelegt. Demnächst wird auf dieselbe Weise der Schalthebel derjenigen Streckenleitung eingelegt, welche in Betrieb genommen werden soll.

6. Wenn eine zweite Dynamomaschine zu der bereits auf das Netz arbeitenden zugeschaltet werden soll, so ist dieselbe zunächst in der vorstehend beschriebenen Weise auf Spannung zu bringen und, wenn diese Spannung die Netzspannung um einige Volt übersteigt, der Maschinenschalthebel der neuen Maschine auf das Netz zu schalten. Auf keinen Fall darf der Hebel früher auf das Netz geschaltet werden, als bis die Netzspannung erreicht ist.

Ist die zweite Maschine auf das Netz geschaltet, so sind beide Maschinen mittels des Nebenschlussregulators auf gleiche Belastung zu bringen.

7. Soll eine Maschine aus dem Netz ausgeschaltet werden, so bringt man die Belastung der auszuschaltenden Maschine durch Vergrösserung des Regulierwiderstandes zunächst auf die Belastung der noch ins Netz arbeitenden Maschine, indem man die Regulierwiderstände der letzteren nötigenfalls vermindert. In dem Augen-

blick, in welchem das Amperemeter der auszuschaltenden Maschine infolge der angegebenen Ausnutzung der Regulierwiderstände auf Null steht, ist der betreffende Maschinenschalthebel rasch aus dem Netz herauszunehmen und der Regulierwiderstand durch Drehen der Kurbel auf die Nulllage ganz einzuschalten, wodurch die Maschine stromlos wird.

8. Beim Ein- und Ausschalten von Dynamomaschinen ist darauf zu achten, dass die Netzspannung möglichst normal bleibt.

9. Das Einschalten von Werkstatts-Elektromotoren geschieht am zweckmässigsten in der Weise, dass man die Kurbel des Anlasswiderstandes recht langsam, am besten ruckweise, von Kontakt zu Kontakt aus der Nulllage zu dem mit »eingeschaltet« oder »normal« bezeichneten Kontakt hinbewegt. Das Ausschalten kann rascher erfolgen; der sich dabei bildende Lichtbogen ist sofort auszublasen.

10. Eine etwa eintretende Umpolarisierung einer Dynamomaschine, welche durch die Stromrichtungszeiger angezeigt wird, lässt sich dadurch wieder aufheben, dass man durch die Spulen dieser Dynamo Strom von einer anderen Dynamo mit richtigem Stromlauf hindurchschickt. Hierzu werden die Bürsten der umpolarisierten Maschine aus dem Bürstenhalter herausgenommen, sodass zwischen Kollektor und Schaltbrett keine Verbindung mehr besteht. Alsdann wird der Schalthebel dieser Maschine auf das Netz oder auf eine andere Dynamo mit richtigem Stromlauf geschaltet und der Regulierwiderstand ganz ausgeschaltet. Darauf lässt man den ungeschwächten Strom ca. $^1/_2$ bis 1 Minute durch die Magnetspulen hindurchlaufen. Ist dies geschehen, so wird der Regulierwiderstand wieder ganz eingeschaltet, d. h. auf Null gestellt, der Schalthebel wird aus dem Netz genommen, die Bürsten werden wieder eingesetzt und man probiert, ob die Dynamo wieder richtigen Stromlauf hat.

Dienstvorschriften für die Wagenführer

müssen ausser den allgemeinen Vorschriften, welche auch bei anderen Bahnbetrieben gang und gäbe sind und daher an dieser Stelle keiner Erwähnung bedürfen, besondere Vorschriften über die Behandlung des Motorwagens und über die Ausübung des Fahrdienstes enthalten. Auch hier folgen wir einigen bewährten, sehr eingehenden Angaben aus der Praxis.

Behandlung des Motorwagens.

a) Übernahme des Wagens.

Bei Übernahme eines Wagens muss der Führer eine sorgfältige Revision desselben vornehmen und etwa vorgefundene Mängel ent-

weder selbst abstellen oder beseitigen lassen. Ist der Wagen neu oder hat derselbe lange mit von der Arbeitsleitung abgezogener Rolle oder Bügel gestanden, so soll der Führer, während der Wagen steht, d. h. während das elektrische Triebwerk ausgeschaltet ist, die Rolle nicht direkt unter die Arbeitsleitung legen, sondern sie zuerst nur seitlich gegen die Leitung drücken und dabei beobachten, ob Funken entstehen. Zeigen sich Funken, so ist dieses ein Zeichen, dass ein schädlicher Kurzschluss oder Nebenschluss vorhanden ist, ein Fehler, dem nach Anleitung unter 8. abzuhelfen ist.

Nach erfolgter unbeanstandeter Übernahme trägt der Führer die Verantwortung für den betriebssicheren und betriebsfähigen Zustand des Wagens.

b) Instandhaltung des Wagens.

Die sachgemässe und sorgsame Bedienung, Behandlung und Unterhaltung des ihm anvertrauten Wagens, die Schonung der Inventarien ist Pflicht und Ehrensache des Wagenführers.

Die von dem Wagenführer mit Hilfe des ihm etwa zugeteilten Personals auszuführenden Unterhaltungsarbeiten sind im wesentlichen folgende:

Instandhalten der Öl- und Schmiergefässe, Nachstellen von Schrauben, Muttern und Keilen, Putzen und Instandhalten der Laternen und Signalvorrichtungen, Einstellen und Auswechseln der Kommutatorbürsten, Auswechseln der Wagenkontakte, Ölen der Lager, Revision der von der Rolle den Strom abnehmender Seitenfedern, bezw. Revision der Bügelkontaktflächen.

Diese Arbeiten sind stets erst dann vorzunehmen, wenn der Wagenkontakt von der Fahrleitung abgezogen, d. h. der Wagen aus dem elektrischen Stromkreis ausgeschaltet ist Ohne diese Vorsicht dürfen beispielsweise niemals die Umschaltevorrichtungen mit der Ölkanne berührt, die Schrauben derselben nachgestellt oder sonstige Hantierungen vorgenommen werden, selbst wenn der Wagenführer sicher zu sein glaubt, dass er nur mit isolierten Teilen in Berührung kommt.

Reparaturen, welche durch Handwerker der Werkstatt an dem ihm zugeteilten Wagen ausgeführt werden, muss der Wagenführer auf Verlangen der Verwaltung mit überwachen und dabei hilfreiche Hand leisten.

c) Wagenbeschädigungen und deren Meldung.

Ein erfahrener Wagenführer erkennt schon nach dem Gehör, ob eine Abweichung vom normalen Zustande bei seinem Wagen vorhanden ist. Jeder Wagenführer muss sich daher mit dem während

der Fahrt auftretenden Geräusch seines Wagens genau vertraut machen. Auf jedes ungewohnte Geräusch muss er seine Aufmerksamkeit richten und dessen Ursache zu erforschen suchen.

Der Wagenführer hat ferner darauf zu achten, ob der Wagen für jede Kurbelstellung des Umschalters die der Stellung angemessene Geschwindigkeit annimmt. Abweichungen hat er zu untersuchen, vorgefundene Mängel mit aller Vorsicht bestmöglichst zu beseitigen.

Zeigt sich dieselbe Unregelmässigkeit sowohl bei Bedienung des einen wie auch des anderen Umschalters, so hat der Wagenführer erst den einen und dann den anderen Motor auszuschalten. Arbeitet der eine Motor nicht für alle Kurbelstellungen ordnungsmässig, so wird dieser endgültig ausgeschaltet und der Wagen mit dem einen unversehrt gebliebenen Motor nach der Station gefahren, um dort in Reparatur genommen zu werden.

Von jeder Beschädigung und irgend welcher Abweichung vom normalen Zustande des Wagens, deren Beseitigung ihm selbst nicht möglich ist, muss der Wagenführer thunlichst bald — spätestens bei Abgabe des Dienstes — seinem nächsten Vorgesetzten ausser dem Meldezettel noch mündliche Anzeige machen.

Ausübung des Fahrdienstes.

d) Dienstantritt.

Vor Antritt des Dienstes hat das Wagenführerpersonal sich zunächst über neuere Bestimmungen und Verfügungen bei dem nächsten Vorgesetzten zu erkundigen und die etwa ausgelegten Bekanntmachungen einzusehen.

Sodann hat der Führer seinen Wagen in allen wichtigen Teilen zu untersuchen, sich von deren Dienstfähigkeit zu überzeugen und dafür zu sorgen, dass alle Lager gehörig geölt sind.

e) Beaufsichtigung stehender Motorwagen.

Vom Antritt des Dienstes an bis zur Beendigung trägt der Wagenführer die Verantwortlichkeit für die ordnungsmässige Wartung und Beaufsichtigung aller maschinellen und elektrischen Teile des Wagens.

So lange der Wagen im Schuppen steht, soll der Wagenkontakt von der Fahrleitung heruntergezogen sein, ebenso soll die Kurbel jedes vorher auf die Marke »Halt« gestellten Umschalters abgenommen, unter Verschluss gebracht und die Bremse angezogen sein.

Der Führer und der ihm etwa zugeteilte Lehrling müssen für die Dauer ihres Dienstes auf bezw. bei dem Wagen bleiben. Niemals

darf ein Wagen auf dem Gleis ausserhalb des Schuppens ohne Bewachung stehen. Muss der Führer auf einen Augenblick seine Stellung am Umschalter eines stehenden Wagens verlassen, so soll er vorher die Kurbel ab- und an sich nehmen.

Sind die Bremskurbeln der Wagen abnehmbar, so hat der Wagenführer die zur Bremse des Hinterperrons stets ab- und an sich zu nehmen, damit er stets über die Losstellung der Bremse unterrichtet bleibt.

f) Besteigen und Verlassen des Wagens.

Während der Wagen in Bewegung ist, darf der Führer weder den Wagen verlassen, noch besteigen. Der Wagen ist immer vorher zum Stillstand zu bringen und dann zu verfahren, wie unter e) angegeben.

g) Verhalten während der Fahrt.

Vor jeder Ingangsetzung des Wagens hat der Führer das vorgeschriebene Achtungssignal mit der Glocke zu geben. Beim Befahren der Gleise muss er aufmerksam beobachten, ob der Fahrt keine Hindernisse entgegenstehen, namentlich ob die etwa zu passierenden Weichen richtig gestellt und die zu befahrenden Gleise frei sind. Der Führer soll nicht über lose Drähte, Eisen- oder Holzstücke fahren, selbst wenn dabei keine Entgleisung zu befürchten steht, weil diese Gegenstände in das Triebwerk oder in den Motor gelangen können.

Während der Fahrt steht der Führer auf dem Vorderperron des Wagens, die linke Hand auf der Kurbel des Umschalters, die rechte Hand auf der Bremskurbel.

Die Umstellung des Kurbelzeigers von einer Kontaktmarke bis zur anderen soll stetig, aber nicht zögernd, vor sich gehen, sodass der Wagen allmählich und nicht ruckweise die beabsichtigte Geschwindigkeit annimmt.

Soll der Strom abgestellt werden, so ist der Kurbelzeiger gleichmässig und schnell auf die Marke »Halt« (Nullpunkt) zu stellen.

Der Zweck dieser schnellen Bewegung kann dem Führer bei Probefahrten vom Vorgesetzten klar gemacht werden, indem der Mantel vom Umschalter abgelöst wird und dabei die Folgen einer langsamen und schnellen Drehung der Kurbel beobachtet werden. Bei langsamer Bewegung ist ein starkes Feuern bemerkbar, welches die Kontakte verbrennen kann. Der Lehrling hat zunächst das schnelle Ausschalten an einem auf der Station zur Übung aufgestellten Umschalter, bezw. an einem in Ruhe, also stromfrei stehenden Reservewagen zu erlernen, bevor er vom Wagenführer zur

Bedienung des Umschalters an einem Wagen im Betriebe herangezogen werden darf. Namentlich ist darauf zu achten, dass bei der schnellen Bewegung der Zeiger nicht über die Marke »Halt« hinaus gedreht wird.

Das Anhalten auf starker Steigung und in Kurven ist zu vermeiden.

Wenn bei nassem Wetter, bezw. bei Glatteis die Räder gleiten, so ist der Sandstreuapparat zu benutzen, und wenn damit nicht der genügende Erfolg erzielt wird, ist die Schaltkurbel auf Null zurückzustellen und alsdann wieder langsam vorzudrehen, bis die Räder richtig vorwärts laufen.

Der Führer hat bei der Abfahrt und bei jedem Anfahren den Wagen vorsichtig und ohne Stoss in Bewegung zu setzen. Zu dem Zwecke darf der Führer den Strom nur so einschalten, dass der bezw. die Motoren nicht zu schnell angehen.

Bewegt sich die Kurbel schwer, so muss der Führer, sobald sich Gelegenheit dazu bietet, den Mantel des Umschalters entfernen, nach dem Fehler forschen und diesen beseitigen, wenn er dazu imstande ist (vergl. b). Das gewaltsame Zerren an der Kurbel, um den Widerstand zu überwinden, ist nur schädlich. In Gefällstrecken, auf schlecht liegenden Gleisen, durch Weichen, Gleiskreuzungen, Kurven, durch Pfützen ist langsam zu fahren, sodass der Wagen rechtzeitig mittels der Bremse zum Halten gebracht werden kann. Auf starken, langen Gefällstrecken sind die Motoren auszuschalten. Der Wagenkontakt muss aber dabei stets gegen die Fahrleitung liegen, sodass beim Versagen der Bremse im Notfall mittels des elektrischen Stromes das Anhalten bewirkt werden kann. Zum Zweck des richtigen Anhaltens hat der Führer zunächst die Motoren auszuschalten, sodann die Bremse anzuziehen und diese kurz vor dem völligen Stillstand des Wagens loszulassen, weil dann der Anker des Motors die Zahnräder so dreht, dass ohne Stoss wieder angefahren werden kann. Im anderen Falle veranlasst der tote Gang im Getriebe schädliche Stösse beim Anfahren. Kreuzen zwei Motorwagen in einer Ausweichung, so sollen diese nicht gleichzeitig, sondern stets nacheinander an- bezw. weiterfahren, weil beim Anfahren die vierfache Stromstärke am Wagen gebraucht wird. Bei schlechter Gleislage oder wenn in eine Kurve oder Weiche eingefahren wird, hat der Schaffner auf den Wagenkontakt Obacht zu geben. Ist der Wagen nur mit dem Führer besetzt, so hat dieser auf alle die Anzeichen zu achten, welche ein Abgleiten des Wagenkontaktes von dem Fahrdraht andeuten.

Wird die Fahrtrichtung gewechselt, so ist der Wagenkontakt für die andere Fahrtrichtung umzulegen. Es ist darauf zu achten,

dass die Leine sich weder verwickelt, noch an einer anderen als der dafür bestimmten Stelle herabhängt.

Bei dieser Verrichtung, welche, wenn der Wagen von einem Schaffner begleitet wird, von letzterem ausgeführt wird, ist auch gleichzeitig der Kontakt nachzusehen. Der mittlere Teil desselben darf nicht zu sehr abgenutzt sein. Zeigt sich starker Verschleiss, so wechselt der Führer den Kontakt aus seinem Reservebestande sobald als angängig aus.

h) Verhalten bei Unregelmässigkeiten im Betriebe.

Gleitet die Kontaktrolle von dem Fahrdraht, so hat der Führer sofort den Kurbelzeiger des Umschalters auf »Halt« zu stellen und die Umschaltung nicht eher wieder zu bedienen, als bis sich die Kontaktrolle wieder ordnungsmässig an dem Fahrdraht abwälzt. Ist die Gefahr eines Zusammenstosses oder des Überfahrens von Menschen oder Tieren vorhanden, so hat der Führer unverzüglich die Motoren auszuschalten, die mechanische und elektrische bezw. elektromagnetische Bremse zu bethätigen. Von dem Mittel des Stromumkehrens darf nur im äussersten Notfalle Gebrauch gemacht werden. Ehe sich dann der Wagen nicht nach rückwärts in Bewegung setzt, darf der Strom nicht ausgeschaltet, d. h. die Kurbel in die Haltstellung gebracht werden.

Der Führer, welcher beim regelmässigen Betriebe Gegenstrom anwendet, statt sich der Bremse zu bedienen, wird bestraft, im Wiederholungsfalle entlassen.

Entgleist der Wagen, so soll der Führer nicht eher versuchen, ihn unter Anwendung des elektrischen Stromes auf das Gleis zurückzubewegen, als bis er sich genau davon überzeugt hat, dass der Wagen frei laufen kann. Würde der Führer einen Motor einschalten, ohne dass die Räder sich frei bewegen können, so könnte dieses leicht zu einer Zerstörung der elektrischen Teile führen.

Bei Gewitter sind stets die Glühlampen einzuschalten, damit der Blitz einen induktionsfreien Ableiter zur Erde findet.

Bleibt der Wagen plötzlich stehen, so ist es wahrscheinlich, dass der Stromkreis Erdschluss erhalten hat. Es ist dann der Wagenkontakt abzuziehen oder der Hauptausschalter bezw. der Starkstromautomat zu öffnen und hat der Führer hierauf die im Wagen befindlichen, nach den Motoren führenden Kabel zu untersuchen, desgleichen auch die Bürstenhalter und Umschalter.

Ist Kurzschluss im Anker vorhanden, so dreht sich dieser beschädigte Anker (falls eingeschaltet) ein wenig, um dann plötzlich stehen zu bleiben. Sind beide Motoren eingeschaltet, so dreht sich der beschädigte Anker stossweise. Es ist dann der schad-

hafte Motor auszuschalten und nur der andere Motor im Betrieb zu halten.

Fährt ein Wagen nicht an, so kann die Störung an einem mangelhaften Kontakt des Umschalters liegen. Gewöhnlich findet sich der Fehler an einer der Kontaktfedern. Es sind stets beide Umschalter nach Zurückdrehung der Kurbel auf »Halt« zu untersuchen.

Lässt sich der Wagen von keinem der beiden Umschalter aus in Bewegung setzen, so sind die Glühlampen einzuschalten. Brennen die letzteren nicht, so ist nachzusehen, ob alle Lampen heil sind. Brennen, nachdem ev. neue Lampen eingeschaltet sind, auch diese nicht, so erübrigt nur, dass der Führer die anderen Wagen beobachtet. Verkehren diese, so liegt der Fehler unbedingt am eigenen Wagen. Erweisen sich alle Bemühungen, den Wagen diensttauglich zu machen, als fruchtlos, so ist derselbe leer an einen anderen Motorwagen, der in der Richtung nach dem Depot verkehrt, behufs Aussetzens daselbst anzuhängen, nachdem — falls irgend möglich — an die Werkstatt Fernsprechmeldung gegeben ist. Stehen aber auch die anderen Wagen, so ist die Störung unverzüglich durch den nächstgelegenen, zur Verfügung stehenden Fernsprecher an die Kraftstation zu depeschieren oder ein Eilbote mit der schriftlichen Meldung an die Station abzuschicken. Inzwischen darf der Führer seine Bemühungen, den Wagen in Betrieb zu bringen, nicht fortsetzen, sondern er hat nur die Glühlampen einzuschalten und zu warten, bis diese wieder eine Minute lang ruhig brennen. Alsdann darf er annehmen, dass der störende Kurzschluss wieder beseitigt ist, sodass er vorsichtig weiterfahren darf.

Springt der Automat am Wagen aus, so hat der Führer denselben wieder einzulegen. Bei wiederholtem Ausspringen darf derselbe jedoch nicht wieder eingelegt und noch viel weniger darf derselbe etwa festgehalten werden. Hat eine Fahrstreckenleitung Kurzschluss gehabt, so darf der Streckenisolator nur mit ausgeschalteten Motoren überfahren werden, bis der Führer sicher ist, dass die Strecke wieder in Ordnung ist.

Bei Untersuchung der Motoren ist die grösste Vorsicht geboten. Bei nassem Wetter muss der Führer darauf achten, dass kein Wassertropfen von seiner Kleidung auf den Motor fallen kann, im übrigen auch, dass sonstige Gegenstände nicht aus seinen Kleidertaschen in den Motor fallen, auch dass keine Werkzeuge im Motor liegen bleiben.

Bei jeder Untersuchung während der Fahrt, wie solche bei Probefahrten vorkommen können, muss man sich so stellen bezw. halten, dass man nach rückwärts sieht, damit man nicht bei einem plötzlichen Stoss in den Raum der Motoren fallen kann.

i) Ende des Dienstes.

Hat der Führer bei Beendigung des Dienstes seinen Wagen in den Schuppen gebracht, so hat er alle Teile der Motoren, insbesondere die Spulen, Anker und Kommutatoren auf Erwärmung zu untersuchen. Findet er einen Teil stärker erhitzt, als dieses beim normalen Betriebe erfahrungsmässig vorkommt, so hat er sofort Meldung zu erstatten. Kein Führer darf die Station früher verlassen, als bis er seitens seines Vorgesetzten von weiteren Dienstleistungen entbunden ist und sich Kenntnis von seinem nächsten Dienst verschafft hat.

7. Wagenführer.

Die Ansichten über die Vorbildung der Wagenführer sind sehr geteilt. Einerseits wird behauptet, dass gelernte Schlosser bezw. Handwerker im allgemeinen sich gut hierzu eignen, weil dieselben sich schneller mit dem Mechanismus vertraut zu machen imstande sind, als gewöhnliche Arbeiter.

Anderseits werden wieder solche Leute bevorzugt, welche bisher als Pferdebahnkutscher bedienstet waren. Diesen sagt man erstens ein grösseres Phlegma nach und zweitens preist man an ihnen als löbliche Eigenschaft, dass sie sich bei Defekten des Mechanismus nicht um die Ursache zu bekümmern verstehen, weil ihnen die technische Vorbildung fehlt. Das Gute liegt hierbei thatsächlich darin, dass diese Leute bei der immerhin sehr beschränkten Reparaturzeit auf der Strecke sich nicht damit abgeben, die Störung von Grund aus zu beseitigen. Der Handwerker wird stets den Trieb haben, zu bessern und zu helfen, und kann bei der flüchtigen Besichtigung und Beseitigung nur sogenannte Murkserei fertig bringen. Unter diesen Umständen scheint es wirklich ratsamer, dem Unwissenden die Führung und Wartung des Wagens während der Fahrt anzuvertrauen. Zum mindesten kann dann an dem inneren Mechanismus der Schaden nicht grösser gemacht werden.

Bei Prüfung der Wagenführer für elektrische Bahnen ist ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, dass die Führer genügende Sicherheit im Abschätzen der Entfernungen besitzen. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass manche solche Führer unfähig sind, die Weite, welche für das Anhalten und Verlangsamen der Fahrt in Frage kommt, richtig abzuschätzen und dadurch sehr viel Zusammenstösse und öfteres Auffahren auf entgegenkommende und in gleicher Fahrrichtung vorfahrende Gefährte u. s. w. zu verzeichnen haben.

Zweifellos ist die Sicherheit im Distanzschätzen dem Führer eines Wagens, der sich z. B. auf einer belebten Strasse bewegen

muss, ebenso notwendig, wie dem Lokomotivführer die Sicherheit in der Erkennung der Farben der Signale; nur hat man zu berücksichtigen, dass Distanzschätzen gelernt werden muss und kann, und dass darum der Prüfung erst eine Übung vorausgehen muss.

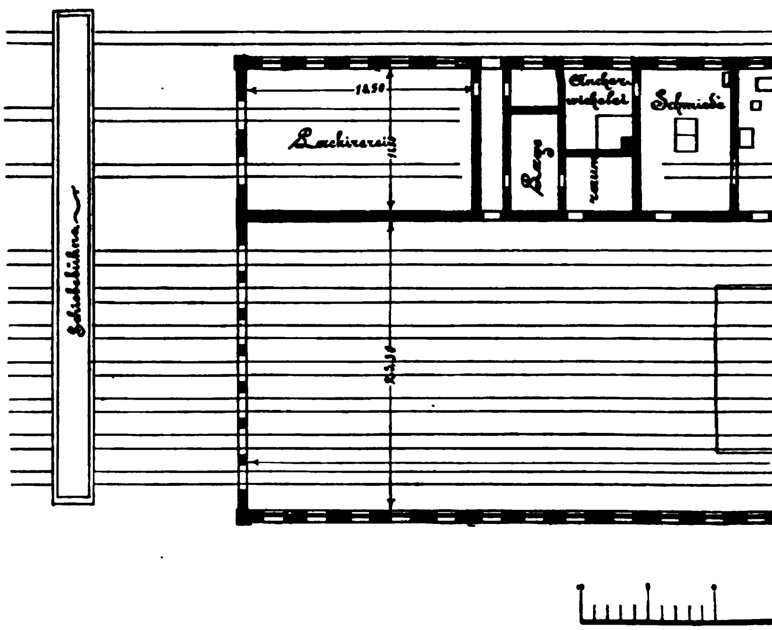
Neben dieser Eigenschaft ist dem Führer bei den Prüfungen die nötige Geistesgegenwart beizubringen, indem der Prüfende sich plötzlich vor den Wagen stellt und natürlich gewandt genug ist, um sich vor Überfahrenwerden zu schützen.

Bewährt sich der Führer bei der Probe nicht genügend, so ist es ratsamer, ihn noch weiteren Übungen zu überlassen, denn es ist eine alte Thatsache, dass diejenigen, welche am längsten lernen müssen, später die zuverlässigsten Führer werden. Man darf es nicht scheuen, für die doppelte Lernzeit entsprechenden Lohn zu zahlen, denn diese Mehrausgabe macht sich doppelt und mehrfach bezahlt, indem gut ausgebildete Führer wenig Wagenreparaturkosten verursachen.

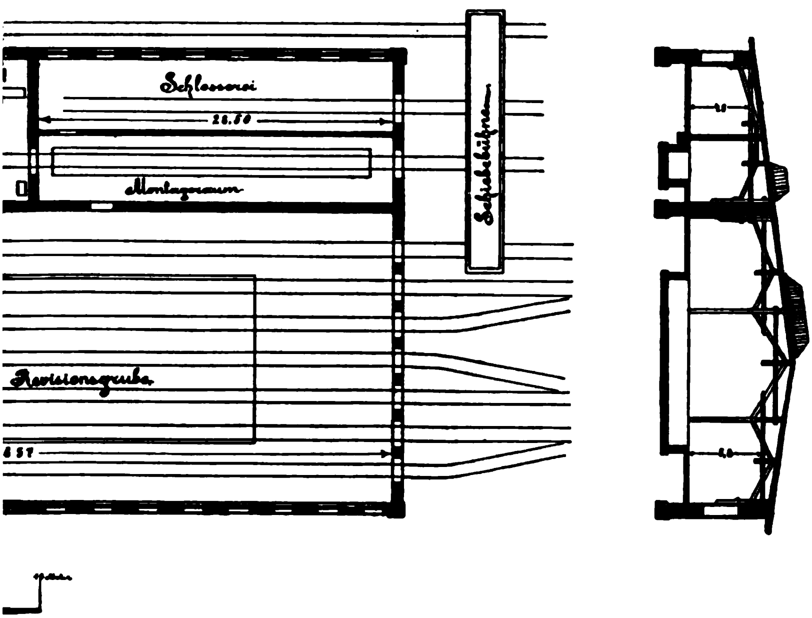
Es ist ungemein wichtig, dass der Führer lernt, Strom zu sparen, sodass er beim Thalfahren und Anhalten nicht unnötig Arbeit totbremst. Er kann es ferner kurz vor dem Anhalten vermeiden, Strom in den Wagen zu senden, um denselben bald darauf wieder auszuschalten.

8. Wagenhalle, Werkstatt, Werkstatteinrichtung und Werkzeuge.

Die Wagenhallen, welche zur Aufnahme des rollenden Materials dienen, sind besonders charakterisiert durch die für den elektrischen Betrieb nötigen Revisions- und Arbeitsgruben, mit denen ein Teil der Gleise ausgerüstet ist. Dieselben sind gewöhnlich 1,2 bis 1,5 *m* tief und mit Entwässerung versehen. Häufig legt man auch die sämtlichen Gleise auf eiserne oder hölzerne Säulengerüste, sodass man bequem unter den Gleisen fortgehen kann, ohne erst über das Gleisniveau zu müssen. Ein Teil der Wagenhalle wird zweckmässig für Lackierraum, Stellmacherei, Werkstatt, Schmiede, Lager und Mannschaftsräume mitbenutzt und durch Fachwerkswände oder leichte andere Wände in der Haupthalle abgeschlagen. Die Anhängewagen, welche nur geringere Bedienung und Reparatur bedürfen, werden zweckmässig in besonderen leichten Hallen untergebracht. Die Revisionsgruben sollen eine leichte Zugänglichkeit zu der unter den Wagen befindlichen motorischen Einrichtung ermöglichen. Wenn irgend angängig, versieht man die Wagenhallen mit Oberlicht, sodass überall genügend Helligkeit vorhanden ist. Die Werkstatt muss mit einer Montagegrube versehen sein, um auch hier leicht Reparaturen und Neueinbauten an den Wagen bewerkstelligen zu können.



Schiemann, Bahnen I.



512.

Verlag von Oskar Leiner, Leipzig.

Die von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft zu Berlin in Lodz errichtete Wagenhalle zeigt Fig. 512. Dieselbe zeigte eine vorbildliche Anordnung.

Den Grundriss eines Depot-Grundstückes und Betriebsbahnhofes zeigt Fig. 513.

Die im Grundriss dargestellte Anordnung der Wagenhalle b und der Werkstätten ist äusserst zweckmässig gewählt. Längs einer Seitenwand der Wagenhalle sind sämtliche Werkstätten vorgesehen; für spätere Erweiterungen ist die andere Seitenwand in leichtem Fachwerksbau ausgeführt, sodass dieselbe abgebrochen und weiter hinausgerückt werden kann. Der Antrieb der Werkzeugmaschinen erfolgt mittels Elektromotor. Am Ende der Wagenhalle befindet sich eine Schiebebühne, um die Wagen zwischen Hallen- und Werkstattgleisen leicht verschieben zu können, ohne dass dadurch die Einfahrt der Betriebswagen in das Depot, bezw. in die Wagenhallen irgendwie behindert wird. Die Weichenstrasse für die Hallengleise liegt zwischen der Halle und der Einfahrt des Grundstückes, während das Betriebsgebäude mit den Amtswohnungen der Angestellten die stumpfe Strassenecke einnimmt und zum Teil den durch die Weichenstrasse frei gelassenen Raum ausfüllt. Es ist durch diese Anordnung die günstigste Platzausnutzung ohne irgend welche Betriebsbeschränkungen erreicht worden.

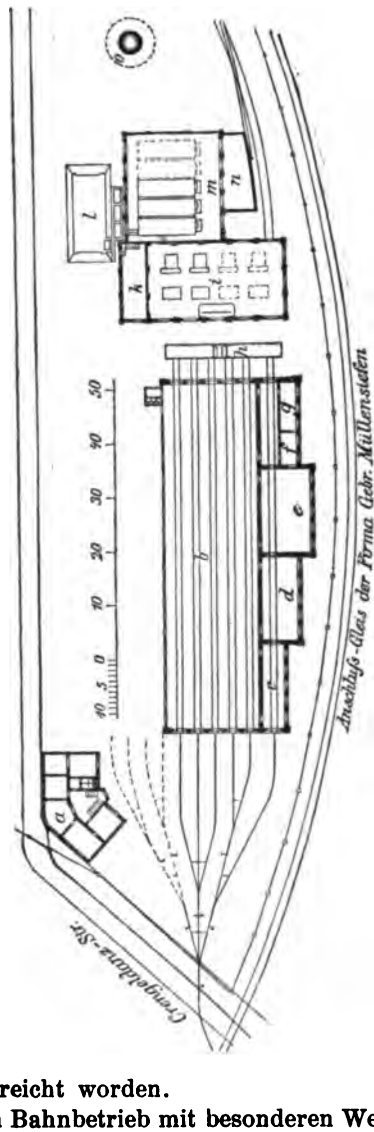


Fig. 513.

Die Werkstatt muss für den Bahnbetrieb mit besonderen Werkzeugmaschinen ausgerüstet werden, welche in anderen Werkstätten nicht vorzufinden sind. Hierzu gehören vornehmlich Räderdrehbank und hydraulische Radpresse, Wagenwinden, Schellackbad. Eine

Räderdrehbank unterscheidet sich von den grossen Drehbänken der Maschinenbauwerkstätten dadurch, dass dieselbe so niedrig ist, um die abzudrehenden Radsätze direkt auf die Drehbankspitzen auflaufen zu lassen, ohne einen besonderen Krahn nötig zu haben.

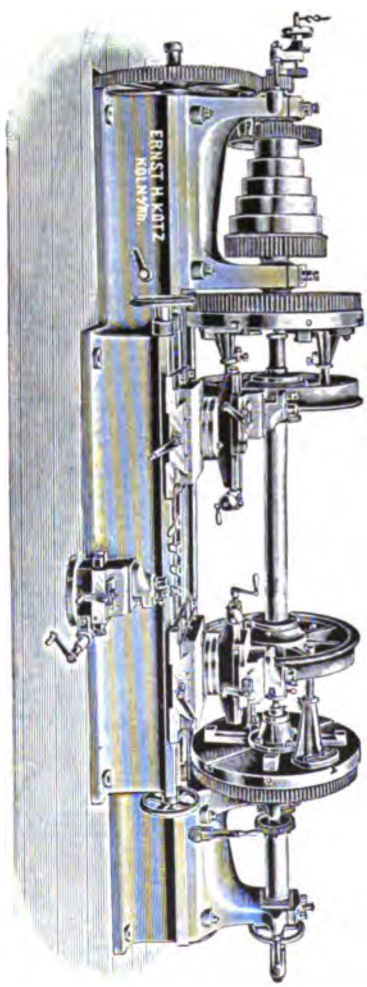


Fig. 514.

Man montiert daher die Spitzenhöhe gleich der Achsenhöhe und lässt den Dreher in einer Grube stehen. Fig. 514 zeigt eine geeignete Räderdrehbank.

Die Räderdrehbank besitzt zweckmässig zwei Planscheiben und zwei Supporte.

Eine nach andern Grundsätzen gebaute Räderdrehbank ist in Amerika im Gebrauch. Bei derselben sind zwei Neuerungen zu verzeichnen, nämlich die Aufbringung der Achse auf die Werkbank, und das Bearbeiten der Laufflächen.

Wie die vorstehenden Abbildungen (Fig. 515 und 516) veranschaulichen, ist bei der amerikanischen Räderdrehbank das Ausbauen der Radsätze aus dem Wagen und das Abnehmen der Motoren und Achsenzahnräder von den Achsen nicht mehr erforderlich. Support und Reitstock bilden hier zwei gleichartige, horizontal gegeneinander bewegliche Werkzeuge, welche zu beiden Seiten des Wagenhallengleises aufgestellt werden. (Fig. 515.) Durch einen gewöhnlichen kleinen Windebock wird der Wagen an dem Ende angehoben, an welchem die abzudrehenden Räder sitzen, bis der Kern der Achse mit der Reitstockspitze in gleicher Höhe ist. Alsdann werden die Supporte mittels Hebel an beiden Seiten angeschoben, festgestellt, und die Achse in die Spitzen geklemmt. (Fig. 516.) Der Antrieb der Achse erfolgt nun durch den Wagenmotor selbst, indem mittels des Wagenschalters in üblicher Weise Strom in denselben eingeführt

wird. An Stelle der Drehstähle befinden sich hier je zwei Schmirgelscheiben mit Riemenantrieb, welche sich in entgegengesetzter Richtung des Rades drehen. Die Bandage wird somit nicht abgedreht, sondern abgeschliffen, und diese Behandlungsweise entspricht einer viel natürlicheren, als das Abdrehen auf unseren Räderdrehbänken. Durch das Schmirgeln wird die hohe Umdrehungszahl der Achse bei der Bearbeitung zulässig; beim Abdrehen mittels Stahles wäre dies unthunlich. Für das Abschmirgeln der Flanschen werden event. noch entsprechend anders profilierte Schmirgelscheiben aufgesetzt. Die Räder sollen nach dieser Behandlungsweise ein ganz

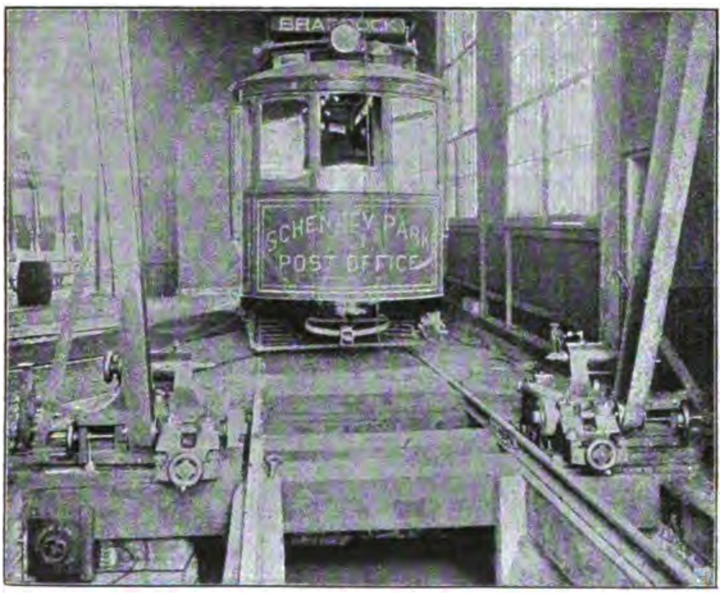


Fig. 515.

vorzügliches Äussere besitzen, vollständig glatt und ohne Drehrillen sein. Das Wichtigste bei der Behandlungsweise ist die Ermöglichung eines äusserst billigen Abdrehens unter Wegfall des teuren Ausbauens von Achse und Motor. Die Einfachheit des Verfahrens legt es dem Betriebsleiter nahe, die Bandagen oft abzudrehen, wodurch Räder geschont werden und Kraftersparnisse im Betriebe dadurch eintreten, dass die Räder niemals unrund und nie verschieden im Durchmesser sind.

Die hydraulische Radpresse dient zum Aufpressen der Radsterne auf die Achsen. In der Fig. 517 ist eine solche Presse dargestellt, deren Pumpe von einem Transmissionsriemen angetrieben

wird. Der sichtbare Doppelhaken in der Mitte dient zum Aufhängen des Radsatzes, so lange er noch nicht von der Presse gefasst wird.



Fig. 516.

Die **Wagenwinden**, wie eine solche einfachster Form in Fig. 518 dargestellt ist, müssen zum Anheben eines Wagens zu je

zweien durch einen, den Wagen von unten fassenden Querträger verbunden werden. Um den ganzen Wagen anheben zu können, müssen demnach vier solcher Windeböcke und zwei Querträger vorhanden sein. Wenn die Wagenmotoren in die Grube hinabgelassen werden können, so benutzt man diese Wagenwinden zugleich als Krahne, in dem der Querbalken durch die geöffneten Wagenfenster geführt und ein Flaschenzug innerhalb des Wagens und oberhalb des Motors an diesem Querbalken angehängt wird.

Die Wagendrehscheibe ist überall da erforderlich, wo die Gleislage keine Drehungen der Wagen bewirkt, wie bei Kehrdreiecken. Es ist erforderlich, jeden Wagen beispielsweise allmonatlich zu wenden, damit die Abnutzung der Bandagen eine gleichmässige ist. Diese Drehscheibe kann einfachster Art sein.

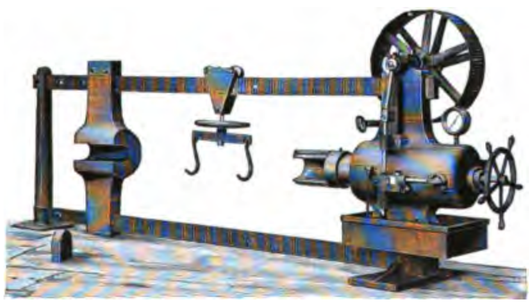


Fig. 517.



Fig. 518.

Die besonderen Werkzeuge für den Streckenbau bestehen in Montagewerkzeugen für die Oberleitung. Zum Fassen des zu spannenden Drahtes bedient man sich der Froschklemme, wie dieselbe in Fig. 519 dargestellt ist. Gewöhnlich ist diese Klemme mit einem Flaschenzug vereinigt. Das Verlegen und Spannen des Fahrdrahtes erfolgt entweder durch Menschenhand mittels Flaschenzuges oder durch Pferde. Um zwei gerissene Enden des Fahrdrahtes zu verbinden, bedient man sich zweckmässig einer Drahtspannvorrichtung, wie dieselbe in Fig. 520 dargestellt ist. Es ist dadurch ermöglicht, den Draht unter Spannung zu erhalten, während die Ver-

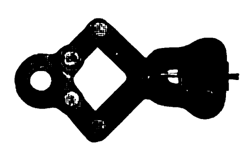


Fig. 519.

bindung hergestellt wird. Um den Fahrdraht zerschneiden zu können, hat man Beisszangen mit auswechselbaren und schleifbaren Schneide-

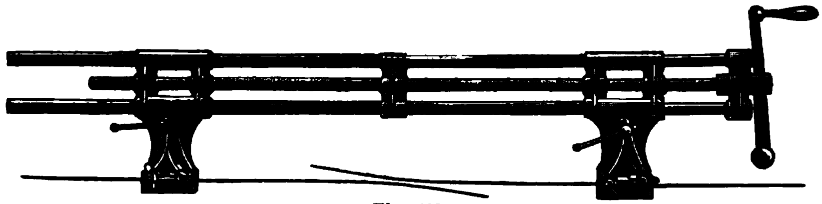


Fig. 520.

backen konstruiert, wie Fig. 521 darstellt. Die Hebelverhältnisse sind so gewählt, dass man beim Zerschneiden des 8 *mm* starken

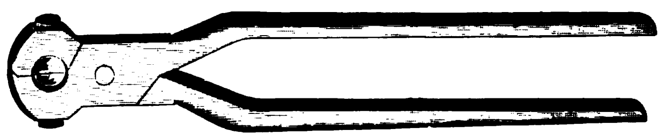


Fig. 521.

Kupferdrahtes diese Zange mit den Händen noch bethätigen kann. Schnittflächenebene und Bewegungsebene der Zange müssen der bequemen Handhabung wegen zusammenfallen.

VI.

Verschiedenes.

1. Baukosten-Aufstellung.

Bei Aufstellung der Baukosten ist die Art des Projektes für die Anordnung der einzelnen Positionen massgebend. Dem projektierenden Ingenieur wird es erwünscht sein, einen allgemeinen Anhaltspunkt bei der Hand zu haben, damit die volle Aufmerksamkeit dem betreffenden Projekte zugewandt bleibt und nicht durch Zusammenstellung der Einzelheiten abgelenkt wird. Das Normalbuchungsformular der Eisenbahnen Deutschlands eignet sich auch hierfür nicht gut, daher sei ein einfaches, aber dem Normalbuchungsformular angepasstes

Schema zur Aufstellung der Anlagekosten einer elektrisch betriebenen Strassenbahn mit einigen Einheitspreisen beigefügt.

I. Vorarbeiten.

a) Eingaben und Vorauslagen
b) Generelle Vorarbeiten
c) Spezielle „
d) Kosten der Plan-Auslegung
e) „ „ Agitation
f) „ „ Frachtensammlung
g) Bekanntmachungen
h) Bau-Ausschreibungen.

II. Grunderwerb.

a) Flächenraum . . *qm*; 1 *qm* ℳ . . . für Betriebsbahnhof und Kraftstation
b) Kaufgebühren
c) Strassenbau-Anteil
d) Wege- und Brückenverbreiterungs-Grundstücke.

III. Grundstück.

a) Einzäunung
b) Planierung
c) Kanalisierung
d) Gas- und Wasserleitungen nebst Anschluss.

IV. Herstellung des Bahnkörpers.

a) Strassenanschüttungen
b) Verbreiterung und Verstärkung von Brücken
c) desgl. von Durchlässen
d) Kunstbauten an der Strecke, wie Wegübergänge, Wärterbuden, Brücken, Durchlässe
e) Umbau und Versetzen vorhandener Baulichkeiten, Telegraphenmaste, Bäume, Schlagbäume, Kanäle, Einsteigschächte, Entwässerungen
f) Nutzentschädigung für Bäume
g) Fläche neben der Chaussee zum Ablagern der Schottersteine (40 *qm* für 1 *km*.)

V. Oberbau.

A. Gleismaterial (System . . .)

a) Hauptgleise . . . . *m* . . . spurig
b) Nebengleise . . . . *m*
c) Wagenhalle und Depôtgleise
d) Schiebebühnen-, Drehscheiben- und Wagen-Gleise
e) Kurvengleis
f) Weichen (für Phönixschienen mit 2 Zungen und Gewichts-Stell-Vorrichtung 600 *M*)
g) Kreuzungen (1 Hauptbahnkreuzung 1200 *M*, 1 Strassenbahnkreuzung 800 *M*.)
h) Kleineisenzeug
i) Schienenverbinder (in Eisen 0,5 *M*, in Kupfer 1,0 *M*/Stck.)
k) Fracht und Transport des Oberbaues. (1 *t* Schienen auf ca. 5 *km* verfahren 2,50 *M*)
l) Haltestellentafeln.

B. Bettungs- und Verlegungs-Material

a) Pflastersteine, Cement, Asphalt (1 *qm* = 15 *M*), Holzpflaster, Steinpflaster 5—10 *M*/*qm*
b) Kies 3 *M*/*cbm*
c) Schotter, Kleinschlag, Grobschlag, Packlage (1 *t*=5—6 *M*).
d) Sand 3 *M*/*cbm*.

C. Verlegungsarbeiten und Erdarbeiten (1000 *M*/*km*)

a) Bettungsgräben herstellen (1 *m* = 0,60 *M*)
b) Packlage, Kleinschlag einbringen (1 *cbm* = 1 *M*)
c) Gleislegen und ausrichten } mit 9 Legern und 12 Stopfern täglich
d) Stopfen } 200 *m* Gleislegen
e) Pflastern
f) Kanal-Verlegungen
g) Hauptbahnkreuzungen
h) Schienenverbinder einschlagen
i) Verlegung von Gas- und Wasserröhren
k) Verlegung von Telephonkabeln
l) Entwässerungen von Weichenkästen, Gleissenkungen u. Schienenrillen
m) Herstellung von Dämmen, Einschnitten, Anschüttungen
n) Aufstellen der Haltestellentafeln.

D. Werkzeuge

a) Schienenklammern b) Stopfhacken c) Brecheisen d) Spaten und Schaufeln e) Schraubenschlüssel f) Richtkreuze g) Spurmass h) Lotwage.	50—75 *M/km*

VI. Gebäude und sonstige Maurerarbeiten.

a) Verwaltungsgebäude . . . . *qm* (130 *M/qm* II Stockwerke)
b) Kesselhaus . . . . . . *qm* (50—60 *M/qm*)
c) Maschinenhaus . . . . . . *qm* (60—70 *M/qm*)
d) Pumpenhaus . . . . *qm*
e) Wagenhalle . . . . *qm* (25—30 *M/qm* Fachwerk mit Holzdach)
f) Arbeitsgruben . . . . *m*
g) Werkstatts-Gebäude . . . . . . *qm* (40—50 *M/qm* Fachwerk mit Holzdach und mit Heizung)
h) Kohlenschuppen . . . . . . *qm* (15—20 *M/qm*)
i) Magazin . . . . . . *qm*
k) Aborte (für das ganze Haus durchgehend 70 *M*, zu ebener Erde 15 *M/qm*)
l) Nebengebäude . . . . *qm*
m) Schornstein 45 *m* hoch mit Blitzableiter 1200—1400 *M*
n) Kessel-, Maschinen- u. s. w. Fundamente (20—25 *M/cbm*)
o) Kessel-Einmauerungen 700—1000 *M*
p) Fuchsanlagen 300—600 *M*/Kessel
q) Heizvorrichtungen
r) Transformatorenhäuschen
s) Wartehallen
t) Rohrkanäle und Einsteigschächte mit Abdeckplatten
u) Kabelkanäle im Maschinenhause
v) Fliesenbelag.

VII. Maschinelle und elektrische Einrichtung der Kraftstation.

A. Kesselhaus und Pumpenhaus

a) Kohlenbanse
b) Kohlenkippwagen 100 *M*/Stck.
c) Kohlenschaufeln und Schürgeräte
d) Kessel 200 *qm* Heizfläche, 8 Atmosph., 3000 *kg* Dampfproduktion 12000 *M*
e) Armatur, Garnitur Reinigungswerkzeuge
f) Mechanische Feuerung 500 *M*
g) Wasserleitungen bis zum Kessel (Sauge- und Druckleitungen)
h) Dampfleitungen bis zur Maschine
i) Pumpe 5000 Stundenliter 500—600 *M*
k) Injektoren 5000 Stundenliter 300 *M*
l) Vorwärmer und Wasserreiniger
m) Wasser-Reservoir (25 *cbm* 3000 *M*)
n) Filter
o) Registrierendes Kontroll-Manometer
p) Reserveteile

q) Inventar und Mobiliar (Tafel, Schränke, Tisch, Bank, Waschgefäss, Kaffeekocher, Schläuche)
r) Beleuchtungskörper und Zubehör
s) Kesselisolationsmaterial (Wärmeschutzmasse)
t) Werkzeug
u) Flurplatten
v) Decimalwage.

B. Maschinenhaus und Nebengebäude

a) Dampfmaschine { 400 PS 100 Umdrehungen 40000 ℳ; 200 PS 150 Umdrehungen 20—25000 ℳ }
b) Stromerzeuger . . . . *kw* . . . . Volt
c) Transmission und Spannvorrichtungen
d) Kondensationsleitung, Entwässerungsleitungen, Kondenstöpfe
e) Kondensator (für 13000 *kg* Dampf 30000 ℳ)
f) Kühl-Apparate
g) Schaltbrett
h) Mess-, Kontroll-, Schalt-, Regulier-, Sicherheits-Apparate, Starkstrom-Automaten (Wattstundenzähler 500 Volt, 800 Amp. = 800 ℳ) Blitzableiter
i) Stromleitungen
k) Deckenlaufkrahn für 5000 *kg* bei 15 *m* Spannweite 3000 ℳ
l) Laufbahn für den Krahn
m) Hauptmanometer 100 ℳ
n) Tachometer 25 ℳ
o) Vakuummeter
p) Indikatoren, je 300 ℳ
q) Ölreiniger (für 100 *kg* Öl täglich = 700 ℳ)
r) Schutzgeländer
s) Reserveteile
t) Inventar und Mobiliar (Schränke für Kleider, Betriebsmaterialien, Öltisch [mit Zinkeinsatz 300 ℳ], Tisch, Bänke, Schlüsselbretter, Ölkannen u. s. w.)
u) Beleuchtungskörper und Zubehör (1 Bogenlampe mit Zubehör 180 – 200 ℳ, 1 Glühlampe mit Zubehör 20 ℳ)
v) Akkumulatoren-Batterie (Pufferbatterie, Reservebatterie, Beleuchtungsbatterie)
w) Werkzeug
x) Ventilatoren zur Lüftung.

C. Wagenhalle

a) elektrische Beleuchtung { α) feste Lampen; β) bewegliche Lampen }
b) Fahrdraht-Einrichtung
c) Wagenwinden
d) Arbeitsgruben.

D. Werkstatt und Lackiererei

a) Elektromotor
b) Räderdrehbank 3000—5000 ℳ
c) Ankerdrehbank 2000 ℳ
d) Hydraulische Radsternpresse mit Luftpumpe, Manometer und Wasserkasten 2400 ℳ
e) Holz- und Kleineisen-Drehbank 1000 ℳ
f) Hobel-Fraisbank 2000 ℳ
g) Universal-Bohrmaschine 2000 ℳ

h) Trockenofen 2000 ℳ
i) Schellackbad 50 ℳ
k) Schmiedefeuer 150 ℳ
l) Amboss
m) Ventilator
n) Werkbänke mit Schraubstöcken
o) Transmission
p) Kleinwerkzeug
q) Galvanoskop und Wheatstone'sche Brücke
r) Winden, Windböcke
s) Inventar und Mobiliar
t) Beleuchtungskörper und Zubehör
u) Dampfheizung
v) Schleifstein 60 ℳ.

E. Hof

a) Stromzuführungs-Anlage
b) Gradierwerk
c) Schiebebühnen und Drehscheiben mit Antrieb
d) Beleuchtungskörper und Zubehör
e) Beleuchtungsmasten und Leitungen
f) Kohlenbanse
g) Waggonwage (für 20 *t* 2000 — 2500 ℳ)
h) Wagen-Drehscheibe.

F. Verwaltungsgebäude

a) Fernsprech-Einrichtungen { Porzellanisolatoren, Klappenschränke, Fernsprech-Apparate, Batterien, Hausleitungen
b) Hausklingel-Anlagen
c) Beleuchtungs-Anlagen { Beleuchtungskörper und Zubehör, Stromleitungen
d) Dampfheizungsanlagen.

VIII. Betriebsmittel.

a) Motorwagen je PS Leistung für . . . Sitz- . . . . . Stehplätze { mit einem Motor 9—12000 ℳ, „ zwei „ 12—16000 ℳ
b) Anhängewagen { geschlossen, offen } desgl. . . . . . { 3000—3500 ℳ, 2000—2400 ℳ
c) Lokomotivwagen
d) Montage- und Revisionswagen 1000 ℳ
e) Arbeitswagen
f) Salzwagen
g) Mess-, Prüfungs- und Kontroll-Wagen
h) Revisions-Fahrrad für Betriebsführer 300 ℳ
i) Reserveteile, wie Motoren, Anker, Magnetschenkel, Zahnräder, Federn, Lager, Radsätze, Bandagen
k) Registrierendes Zugdynamometer (250 ℳ), Wagenamperemeter.

IX. Stromzuführungs-Anlage (Oberleitung).

A. Masten, Rosetten

a) Masten { Rohrmaste mit Kopf, Sockel und Ringen 150—300 ℳ, Gittermaste 18—25 ₰/*kg*, Holzmaste 10—20 ℳ/Stck.
b) Ausleger 25—50 ℳ
c) Hausrosetten 15—25 ℳ
d) Schalldämpfer.

B. Spannwerk und Fahrleitung

a) **Isolatoren**
b) **Querdrähte (100 *kg* 25 — 30 ℳ)**
c) **Fahrdraht 50 *qmm* Querschnitt 60—80 ₰/*m***
d) **Unterbrecher mit Ausschalter**
e) **Weichen**
f) **Verbinder**
g) **Verankerung**
h) **Kreuzungen**
i) **Blitzableiter.**

C. Speiseleitungen

a) **oberirdisch blank**
b) **oberirdisch isoliert (100 *qmm* 4 ℳ/*m*)**
c) **unterirdisch isoliert (Kabel)**
d) **Porzellan-Isolatoren**
e) **Anschlussmuffen.**

D. Transformatoren und Signalbuden.

E. Montage

a) **Setzen der Maste (1 *cbm* Beton 20 — 25 ℳ)**
b) **Anbringen der Rosetten**
c) **Aufbringen des Tragwerkes und des Fahrdrahtes** } 1000 ℳ/*km*
d) **Eingraben von Blitzableiter-Erdplatten** } 1000 ℳ/*km*
e) **Aufbringen der oberirdischen Speiseleitungen** } 1000 ℳ/*km*
f) **Verlegen der Kabel einschl. Kabelgräben herstellen u. zuschütten.**

F. Schutzvorrichtungen

a) **Postschutzvorrichtungen**
b) **Selbstausschalter**
c) **Bleisicherungen**
d) **Ausschalter**
e) **sonstige behördliche Forderungen.**

G. Fernsprech-Einrichtungen

a) **Isolatoren**
b) **Drähte**
c) **Stützen**
d) **Unterstations-Apparate und Klappenschrank**
e) **Erdplatten.**

H. Insgemein

a) **Haltetafeln**
b) **Abänderung von Schlagbarrièren, Verstärkung v. Strassenbrücken**
c) **erstmalige Uniformierung des Betriebs-Personals.**

**(IX B+Ece 3500 ℳ eingleisig, 5500 ℳ zweigleisig
Zuschlag f. eingleisige Kurven 150 ℳ, f. zweigleisige Kurven 250 ℳ.)**

Stromzuführungs-Anlage (Unterleitung).

**1 *km* Unterleitungskanal mit Fahrleitung eingleisig 50000-60000 ℳ/*km*
1 „ „ „ „ zweigleisig 100000-120000 „
Hierzu Schienen, Pflasterung u. s. w. besonders.**

X. General-Unkosten und Verschiedenes.

a) Projektverfassung
b) Vermessungsarbeiten, Vorarbeiten generelle 90—100 *M/km*, spezielle 250—300 *M/km*
c) Bauleitungs- und Verwaltungskosten während des Baues
d) Baubureaumiete
e) Verpackung, Fracht, Transport bis zur Baustelle
f) Montage, Rüstzeug, Hilfskräfte
g) Feuer- und Unfallversicherungsbeiträge während des Baues
h) Begutachtungen
i) Bauzinsen
k) Unternehmergewinn
l) Eröffnungsfeierlichkeiten
m) Probebetrieb
n) Betriebs-Materialien
o) Betriebs-Reserveteile
p) Instandhaltung der Anlage bis zur Betriebs-Eröffnung
q) Schlussvermessungen (500 *M/km*)
r) Abnahme-Arbeiten
s) Bau-Rechnungsprüfung
t) Aktiengesellschafts-Gründungskosten.

2. Behördliche Bestimmungen, Gesetze, Vorschriften.

a) Telegraphenwesen.

Dem deutschen Unternehmer für Bau und Betrieb elektrischer Bahnen steht der § 12 des Gesetzes über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches am meisten hinderlich entgegen, wenn die zu erbauende oder zu betreibende Bahn die öffentlichen Verkehrswege benutzt oder kreuzt.

Dieser § 12 lautet:

»Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Teiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen.«

Zur Auslegung dieses Gesetzes-Paragraphen hat der preussische Minister der öffentlichen Arbeiten am 31. Dezember 1896 im Einvernehmen mit der durch das Gesetz geschützten Postverwaltung folgende allgemeine Vorschriften zum Schutze der Reichstelegraphen- und Fernsprechanlagen herausgegeben, welche beim Bau und Betrieb elektrischer, mit Gleichstrom betriebener Kleinbahnen zu beachten sind.

1. Für den Betrieb der Strassenbahn sind nur solche Dynamomaschinen zur Kraftlieferung zu verwenden, deren Strompulsationen sehr geringfügig sind, damit Induktionsgeräusche in den nahe der Bahn verlaufenden oberirdischen Fernsprechleitungen vermieden werden.

2. Falls, wie dies beabsichtigt wird, eine oberirdische blanke Leitung zur Zuführung der Betriebskraft an die Motorwagen benutzt wird, und die Gleisschienen ebenfalls zur Leitung des Betriebsstromes dienen sollen, muss die metallische Rückleitung durch die Schienen eine möglichst vollkommene sein. Ausserdem sollen an denjenigen Stellen, an welchen die vorhandenen Telegraphen- und Fernsprechleitungen die blanke Fahrleitung der Bahn oberirdisch kreuzen, über der letzteren auf Kosten der Verwaltung der elektrischen Strassenbahn stromlose Schutzdrähte, in geeigneten Fällen Drahtnetze gezogen oder sonstige

stromfreie Schutzvorrichtungen angebracht werden, durch welche eine Berührung der beiderseitigen stromführenden Drähte vermieden wird. An Stelle der stromfreien Schutzvorrichtungen oder neben denselben kann bezw. muss der Schutz der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen auch durch andere Einrichtungen gemäss besonderer, nach Anhörung der Reichs-Telegraphenverwaltung durch die Aufsichtsbehörde zu treffender Anordnung hergestellt werden.

3. An den Kreuzungsstellen muss der Abstand der untersten Telegraphen- oder Fernsprechleitung von den Schutzdrähten und Tragelitzen mindestens 1 *m* betragen. Wo zur Erreichung dieses Abstandes die Telegraphen- und Fernsprechleitungen höher gelegt werden müssen, hat dieses durch die Reichs-Telegraphenverwaltung auf Kosten der Strassenbahnverwaltung zu erfolgen. Desgleichen müssen die in der Nähe von Telegraphen- und Fernsprechleitungen aufzustellenden Pfosten, welche zur Unterstützung der Tragelitzen dienen, mindestens 1,25 *m* von der zunächst befindlichen Telegraphen- oder Fernsprechleitung entfernt bleiben. Sofern trotzdem zu befürchten ist, dass z. B. beim Antrieb der Leitungen durch Wind oder aus sonstigen Ursachen Berührungen der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen mit blanken Teilen der Speiseleitung, der Fahrleitung oder sonstigen stromführenden Teilen der Bahnanlagen an einzelnen Stellen eintreten können, sind auf Antrag der Reichs-Telegraphenverwaltung nach Anordnung der Aufsichtsbehörde geeignete Schutzvorrichtungen anzubringen, die eine Berührung der Schwachstromleitungen mit der Starkstromleitung verhindern.

4. Die Aufsichtsbehörde wird an denjenigen Stellen, wo die elektrische Bahn neben den Schwachstromleitungen verläuft und der gegenseitige Abstand weniger als 10 *m* beträgt, auf Ersuchen der Reichs-Telegraphenverwaltung besondere Schutzvorrichtungen an den Starkstromleitungen zur Verhinderung der Berührung derselben mit den Schwachstromleitungen anordnen, sofern nicht die örtlichen Verhältnisse eine Berührung der Starkstrom- und Schwachstromleitungen auch beim Umbruch von Stangen oder beim Zerreissen von Drähten ausschliessen.

4 a) Ausserdem sind:

α) Schutzleisten auf der Starkstromleitung und Längsdrähte neben derselben an allen Kreuzungsstellen anzubringen, wo Verlegungen der Telegraphen- und Fernsprechleitungen nicht (?) vorgesehen, oder zwar vorgesehen, aber bis jetzt noch nicht ausgeführt sind;

β) in den wenigen Fällen, wo senkrechte Kreuzungen einzelner Fernsprechdrähte, deren Verlegung in Aussicht genommen, aber noch nicht ausgeführt ist, mit der Starkstromleitung vorkommen, nur Holzschutzleisten anzubringen.

5. Die unterirdischen Zuleitungen von der Kraftstation zu den Gleisen (Speiseleitungskabel) müssen thunlichst entfernt von den Reichs-Telegraphenkabeln, wo es angängig ist, auf der anderen Strassenseite verlegt werden. Kreuzungen der unterirdischen Kabel für Starkströme mit solchen für Schwachströme müssen derartig erfolgen, dass der Abstand der Kabel voneinander mindestens 40 *cm* beträgt. Werden Reichs-Telegraphenkabel von unterirdischen Kabeln für elektrische Starkströme gekreuzt, oder verlaufen die Kabel in einem seitlichen Abstande von weniger als 50 *cm* voneinander, so müssen die Reichs-Telegraphenkabel — sofern diese oder die Stromkabel nicht in gemauerten Kanälen liegen — auf Kosten des Unternehmers mit eisernen Röhren, die über die Kreuzungsstelle nach jeder Seite hin etwa 1,50 *m* und über die Endpunkte der Näherungsstrecke 2—3 *m* hinausragen, umgeben und die eisernen Schutzrohre auf der den Starkstromkabeln zugewendeten Seite mit genügend starken Halbmuffen aus Cement oder Beton bedeckt werden. Diese Muffen, deren Bestimmung es ist, flüssiges Metall von den Schutzrohren abzuhalten bezw. zu starke Erwärmung der eingelegten Kabel zu verhüten, müssen 50 *cm* zu beiden Seiten der kreuzenden Starkstromkabel bezw. bei seitlichen Annäherungen ebensoweit über den Anfangs- und Endpunkt der gefährdeten Strecke hinausragen. Wenn die Starkstromkabel in Verteilungskästen eingeführt werden und in einem Abstande von weniger als 50 *cm* von einem Kasten sich Telegraphen- oder Fernsprechkabel befinden, so sind letztere ebenso wie bei einer Näherung

der Starkstromkabel zu schützen. Von dieser Massregel kann abgesehen werden, wenn der Verteilungskasten (mit Ausnahme des Deckels) von Mauerwerk oder von einer Cement- oder Betonschicht umgeben ist.

6. Sind infolge des parallelen Verlaufes der beiderseitigen Anlagen oder aus anderen Ursachen Störungen der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen zu befürchten, oder tret.n solche Störungen auf, so hat der Unternehmer geeignete Massnahmen zur Beseitigung der störenden Einflüsse zu treffen.

Sofern sich zur Vermeidung von Störungen des Telegraphen- oder Fernsprechverkehrs eine Verlegung von Telegraphen- oder Fernsprechlinien als zweckmässig erweist, hat der Unternehmer für die rechtlichen und bautechnischen Vorbedingungen der Verlegung zu sorgen und die durch die Verlegung erwachsenden Kosten zu tragen.

7. Die Aufsichtsbehörde wird auf Ersuchen der Oberpostdirektion Bestimmung darüber treffen, ob und wann zum weiteren Schutze der Reichs-Telegraphen- und Fernsprechleitungen, insbesondere zur thunlichsten Verhütung von Brandschäden für den Fall des Übertritts stärkerer Ströme aus den Starkstromleitungen in die Schwachstromleitungen in letztere von der Reichs-Telegraphenverwaltung auf Kosten der Strassenbahnverwaltung Schmelzsicherungen einzuschalten sind.

Diese Anordnung bleibt ausgesetzt, bis sich die Oberpostdirektion schlüssig gemacht hat.

8. Falls die vorgesehenen Schutzmassregeln nicht ausreichen, um Unzuträglichkeiten oder Störungen für den Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb fernzuhalten, hat der Unternehmer der Starkstromanlage im Einvernehmen mit der zuständigen Oberpostdirektion ohne Verzug weitere Massnahmen zu treffen, bis die Beseitigung der Unzuträglichkeiten oder der störenden Einflüsse erfolgt ist.

Bei mangelndem Einverständnis zwischen der Reichs-Postbehörde und der Strassenbahnverwaltung bestimmt die Aufsichtsbehörde, ob und in welcher Art weitere Sicherungsmassnahmen seitens des Unternehmers zu treffen sind.

9. Bei den aus Anlass der Umwandlung des Pferdebetriebes in elektrischen Betrieb etwa notwendigen Umlegungen bestehender oder bei der Herstellung neuer Gleise dürfen letztere, ausser bei Kreuzungen, nicht über dem Kabellager der unterirdischen Reichs-Telegraphenlinien hergestellt werden. Lässt sich die Linienführung der Gleise nicht anders anordnen, so ist die unterirdische Telegraphenlinie durch die Reichs-Telegraphenverwaltung auf Kosten der Verwaltung der elektrischen Bahn umzulegen. Die Entscheidung darüber, ob die Gleise verlegt werden können oder nicht, steht der Aufsichtsbehörde zu.

10. Durch die elektrische Bahnanlage darf die Reichs-Telegraphenverwaltung in der Befugnis nicht gehindert werden, mit Ausbesserungen und Verlegungen der vorhandenen unterirdischen Telegraphenanlagen jederzeit vorzugehen, selbst wenn dadurch der Betrieb der elektrischen Bahn längere Zeit gestört werden sollte. Derartige Arbeiten sind jedoch thunlichst zu solchen Zeiten vorzunehmen, in welchen der elektrische Betrieb ruht. Beabsichtigt die Strassenbahnverwaltung Aufgrabungen in Strassen vorzunehmen, welche zur Zeit der Vornahme dieser Arbeiten mit unterirdischen Telegraphen- oder Fernsprechkabeln versehen sind, so ist hiervon der zuständigen Oberpostdirektion oder den zuständigen Telegraphenämtern rechtzeitig vor dem Beginn der Arbeiten schriftlich Nachricht zu geben. Falls durch solche Arbeiten der Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb gestört werden sollte, sind die Arbeiten auf Antrag der Telegraphenverwaltung zu einer Zeit auszuführen, in welcher der Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb ruht.

11. Falls Fehler in der Starkstromanlage zu Störungen des Telegraphen- oder Fernsprechbetriebes Anlass geben sollten, so muss der elektrische Betrieb der Bahn auf Anzeige des zuständigen Telegraphenamts an die Betriebsverwaltung der Strassenbahn oder auf Verlangen der Oberpostdirektion in solchem Umfange und so lange eingestellt werden, wie dies zur Beseitigung der Fehler erforderlich ist.

Darüber, ob und inwieweit eine Betriebseinstellung erforderlich ist, hat bei etwaigem Mangel des Einverständnisses der Strassenbahnverwaltung mit den vorbezeichneten Behörden der Reichs-Telegraphenverwaltung die eisenbahntechnische Aufsichtsbehörde zu entscheiden.

In diesen Vorschriften, die sich als eine ministerielle Sanktionierung der von der Post seit mehreren Jahren gestellten Bedingungen darstellen, ist auf den Erlass des Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 4. November 1895 $\frac{\text{III 18940}}{\text{IVa A 7690}}$ nicht zurückgegriffen worden, welcher lautete:

Die Bestimmungen, welche im Interesse der Reichspost- und Telegraphenverwaltung in die Genehmigungsurkunden zum Bau und Betriebe elektrischer Strassenbahnen bisher aufgenommen worden sind, sind beizubehalten, jedoch mit folgendem, seitens genannter Verwaltung nicht beanstandetem Zusatze zu versehen:

»Ob behufs wirksamer Verhütung von Störungen benachbarter Fernsprechleitungen deren Verlegung erforderlich ist, wird während des Baues und der Probefahrten bestimmt. Die desfalls erforderlichen Anordnungen werden auf Antrag der Oberpostdirektion von der Landespolizeibehörde getroffen und auf Kosten des Unternehmers zur Ausführung gebracht.«

Insbesondere bezieht sich dies auf die Bestimmung No. 1, welche mit obiger unter No. 1 angegebenen gleichlautet.

b) Telegraphenwege-Gesetz.

Das am 1. Januar 1900 in Kraft getretene Telegraphenwege-Gesetz regelt das gegenseitige Verhältnis zwischen Telegraphenbehörde und Bahn-Unternehmung einigermassen, und lautet:

§ 1. Die Telegraphenverwaltung ist befugt, die Verkehrswege für ihre zu öffentlichen Zwecken dienenden Telegraphenlinien zu benutzen, soweit nicht dadurch der Gemeingebrauch der Verkehrswege dauernd beschränkt wird. Als Verkehrswege im Sinne dieses Gesetzes gelten, mit Einschluss des Luftraumes und des Erdkörpers, die öffentlichen Wege, Plätze, Brücken und die öffentlichen Gewässer nebst deren dem öffentlichen Gebrauche dienenden Ufern.

Unter Telegraphenlinien sind die Fernsprechlinien mitbegriffen.

§ 2. Bei der Benutzung der Verkehrswege ist eine Erschwerung ihrer Unterhaltung und eine vorübergehende Beschränkung ihres Gemeingebrauchs nach Möglichkeit zu vermeiden.

Wird die Unterhaltung erschwert, so hat die Telegraphenverwaltung dem Unterhaltungspflichtigen die aus der Erschwerung erwachsenden Kosten zu ersetzen.

Nach Beendigung der Arbeiten an der Telegraphenlinie hat die Telegraphenverwaltung den Verkehrsweg sobald als möglich wieder in Stand zu setzen, sofern nicht der Unterhaltungspflichtige erklärt hat, die Instandsetzung selbst vornehmen zu wollen. Die Telegraphenverwaltung hat dem Unterhaltungspflichtigen die Auslagen für die von ihm vorgenommene Instandsetzung zu vergüten und den durch die Arbeiten an der Telegraphenlinie entstandenen Schaden zu ersetzen.

§ 3. Ergiebt sich nach Errichtung einer Telegraphenlinie, dass sie den Gemeingebrauch eines Verkehrsweges, und zwar nicht nur vorübergehend, beschränkt oder die Vornahme der zu seiner Unterhaltung erforderlichen Arbeiten verhindert oder der Ausführung einer von dem Unterhaltungspflichtigen beabsichtigten Änderung des Verkehrsweges entgegensteht, so ist die Telegraphenlinie soweit erforderlich abzuändern oder gänzlich zu beseitigen.

Soweit ein Verkehrsweg eingezogen wird, erlischt die Befugnis der Telegraphenverwaltung zu seiner Benutzung.

In allen diesen Fällen hat die Telegraphenverwaltung die gebotenen Änderungen an der Telegraphenlinie auf ihre Kosten zu bewirken.

§ 4. Die Baumpflanzungen auf und an den Verkehrswegen sind nach Möglichkeit zu schonen, auf das Wachstum der Bäume ist thunlichst Rücksicht

zu nehmen. Ausästungen können nur insoweit verlangt werden, als sie zur Herstellung der Telegraphenlinien oder zur Verhütung von Betriebsstörungen erforderlich sind; sie sind auf das unbedingt notwendige Mass zu beschränken.

Die Telegraphenverwaltung hat dem Besitzer der Baumpflanzungen eine angemessene Frist zu setzen, innerhalb welcher er die Ausästungen selbst vornehmen kann. Sind die Ausästungen innerhalb der Frist nicht oder nicht genügend vorgenommen, so bewirkt die Telegraphenverwaltung die Ausästungen. Dazu ist sie auch berechtigt, wenn es sich um die dringliche Verhütung oder Beseitigung einer Störung handelt.

Die Telegraphenverwaltung ersetzt den an den Baumpflanzungen verursachten Schaden und die Kosten der auf ihr Verlangen vorgenommenen Ausästungen.

§ 5. Die Telegraphenlinien sind so auszuführen, dass sie vorhandene besondere Anlagen (der Wegeunterhaltung dienende Einrichtungen, Kanalisations-, Wasser-, Gasleitungen, Schienenbahnen, elektrische Anlagen u. dgl.) nicht störend beeinflussen. Die aus der Herstellung erforderlicher Schutzvorkehrungen erwachsenden Kosten hat die Telegraphenverwaltung zu tragen.

Die Verlegung oder Veränderung vorhandener besonderer Anlagen kann nur gegen Entschädigung und nur dann verlangt werden, wenn die Benutzung des Verkehrsweges für die Telegraphenlinie sonst unterbleiben müsste und die besondere Anlage anderweit ihrem Zwecke entsprechend untergebracht werden kann.

Auch beim Vorhandensein dieser Voraussetzungen hat die Benutzung des Verkehrsweges für die Telegraphenlinie zu unterbleiben, wenn der aus der Verlegung oder Veränderung der besonderen Anlage entstehende Schaden gegenüber den Kosten, welche der Telegraphenverwaltung aus der Benutzung eines anderen ihr zur Verfügung stehenden Verkehrsweges erwachsen, unverhältnismässig gross ist.

Diese Vorschriften finden auf solche in der Vorbereitung befindliche besondere Anlagen, deren Herstellung im öffentlichen Interesse liegt, entsprechende Anwendung. Eine Entschädigung auf Grund des Absatz 2 wird nur bis zu dem Betrage der Aufwendungen gewährt, die durch die Vorbereitung entstanden sind. Als in der Vorbereitung begriffen gelten Anlagen, sobald sie auf Grund eines im Einzelnen ausgearbeiteten Planes die Genehmigung des Auftraggebers und, soweit erforderlich, die Genehmigungen der zuständigen Behörden und des Eigentümers oder des sonstigen Nutzungsberechtigten des in Anspruch genommenen Weges erhalten haben.

§ 6. Spätere besondere Anlagen sind nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie die vorhandenen Telegraphenlinien nicht störend beeinflussen.

Dem Verlangen der Verlegung oder Veränderung einer Telegraphenlinie muss auf Kosten der Telegraphenverwaltung stattgegeben werden, wenn sonst die Herstellung einer späteren besonderen Anlage unterbleiben müsste oder wesentlich erschwert werden würde, welche aus Gründen des öffentlichen Interesses, insbesondere aus volkswirtschaftlichen oder Verkehrsrücksichten von den Wege-Unterhaltungspflichtigen oder unter überwiegender Beteiligung eines oder mehrerer derselben zur Ausführung gebracht werden soll. Die Verlegung einer nicht lediglich dem Orts-, Vororts- oder Nachbarortsverkehr dienenden Telegraphenlinie kann nur dann verlangt werden, wenn die Telegraphenlinie ohne Aufwendung unverhältnismässig hoher Kosten anderweitig ihrem Zwecke entsprechend untergebracht werden kann.

Muss wegen einer solchen späteren besonderen Anlage die schon vorhandene Telegraphenlinie mit Schutzvorkehrungen versehen werden, so sind die dadurch entstehenden Kosten von der Telegraphenverwaltung zu tragen.

Überlässt ein Wege-Unterhaltungspflichtiger seinen Anteil einem nicht unterhaltungspflichtigen Dritten, so sind der Telegraphenverwaltung die durch die Verlegung oder Veränderung oder durch die Herstellung der Schutzvorkehrungen erwachsenen Kosten, soweit sie auf dessen Anteil fallen, zu erstatten.

Die Unternehmer anderer als der in Absatz 2 bezeichneten besonderen Anlagen haben die aus der Verlegung oder Veränderung der vorhandenen Telegraphenlinien oder aus der Herstellung der erforderlichen Schutzvorkehrungen an solchen erwachsenden Kosten zu tragen.

Auf spätere Änderungen vorhandener besonderer Anlagen finden die Vorschriften der Absätze 1 bis 5 entsprechende Anwendung.

§ 7. Vor der Benutzung eines Verkehrsweges zur Ausführung neuer Telegraphenlinien oder wesentlicher Änderungen vorhandener Telegraphenlinien hat die Telegraphenverwaltung einen Plan aufzustellen. Der Plan soll die in Aussicht genommene Richtungslinie, den Raum, welcher für die oberirdischen oder unterirdischen Leitungen in Anspruch genommen wird, bei oberirdischen Linien auch die Entfernung der Stangen voneinander und deren Höhe, soweit dies möglich ist, angeben.

Der Plan ist, sofern die Unterhaltungspflicht an dem Verkehrsweg einem Bundesstaat, einem Kommunalverband oder einer anderen Körperschaft des öffentlichen Rechtes obliegt, dem Unterhaltungspflichtigen, andernfalls der unteren Verwaltungsbehörde mitzuteilen; diese hat, soweit thunlich, die Unterhaltungspflichtigen von dem Eingange des Planes zu benachrichtigen. Der Plan ist in allen Fällen, in denen die Verlegung oder Veränderung einer der im § 5 bezeichneten Anlagen verlangt wird oder die Störung einer solchen Anlage zu erwarten ist, dem Unternehmer der Anlage mitzuteilen.

Ausserdem ist der Plan bei den Post- oder Telegraphenämtern, soweit die Telegraphenlinie deren Bezirke berührt, auf die Dauer von vier Wochen öffentlich auszulegen. Die Zeit der Auslegung soll mindestens in einer der Zeitungen, welche im betreffenden Bezirk zu den Veröffentlichungen der unteren Verwaltungsbehörden dienen, bekannt gemacht werden. Die Auslegung kann unterbleiben, soweit es sich lediglich um die Führung von Telegraphenlinien durch den Luftraum über den Verkehrswegen handelt.

§ 8. Die Telegraphenverwaltung ist zur Ausführung des Planes befugt, wenn nicht gegen diesen von den Beteiligten binnen vier Wochen bei der Behörde, welche den Plan ausgelegt hat, Einspruch erhoben wird.

Die Einspruchsfrist beginnt für diejenigen, denen der Plan gemäss den Vorschriften des § 7 Absatz 2 mitgeteilt ist, mit der Zustellung, für andere Beteiligte mit der öffentlichen Auslegung.

Der Einspruch kann nur darauf gestützt werden, dass der Plan eine Verletzung der Vorschriften der §§ 1 bis 5 dieses Gesetzes oder der auf Grund des § 18 erlassenen Anordnungen enthält.

Über den Einspruch entscheidet die höhere Verwaltungsbehörde. Gegen die Entscheidung findet, sofern die höhere Verwaltungsbehörde nicht zugleich Landes-Centralbehörde ist, binnen einer Frist von zwei Wochen nach der Zustellung die Beschwerde an die Landes-Centralbehörde statt. Die Landes-Centralbehörde hat in allen Fällen vor der Entscheidung die Central-Telegraphenbehörde zu hören. Auf Antrag der Telegraphenverwaltung kann die Entscheidung der höheren Verwaltungsbehörde für vorläufig vollstreckbar erklärt werden. Wird eine für vorläufig vollstreckbar erklärte Entscheidung aufgehoben oder abgeändert, so ist die Telegraphenverwaltung zum Ersatze des Schadens verpflichtet, der dem Gegner durch die Ausführung der Telegraphenlinie entstanden ist.

§ 9. Auf Verlangen einer Landes-Centralbehörde ist den von ihr bezeichneten öffentlichen Behörden Kenntnis von dem Plane durch Mitteilung einer Abschrift zu geben.

§ 10. Wird ohne wesentliche Änderung vorhandener Telegraphenlinien die Überschreitung des in dem ursprünglichen Plane für die Leitungen in Anspruch genommenen Raumes beabsichtigt und ist davon eine weitere Beeinträchtigung der Baumpflanzungen durch Ausästungen zu befürchten, so ist den Eigentümern der Baumpflanzungen vor der Ausführung Gelegenheit zur Wahrnehmung ihrer Interessen zu geben.

§ 11. Die Reichs-Telegraphenverwaltung kann die Strassenbau- und Polizeibeamten mit der Beaufsichtigung und vorläufigen Wiederherstellung der

Telegraphenleitungen nach näherer Anweisung der Landes-Centralbehörde beauftragen; sie hat dafür den Beamten im Einvernehmen mit der ihnen vorgesetzten Behörde eine besondere Vergütung zu zahlen.

§ 12. Die Telegraphenverwaltung ist befugt, Telegraphenlinien durch den Luftraum über Grundstücken, die nicht Verkehrswege im Sinne dieses Gesetzes sind, zu führen, so weit nicht dadurch die Benutzung des Grundstückes nach den zur Zeit der Herstellung der Anlage bestehenden Verhältnissen wesentlich beeinträchtigt wird. Tritt später eine solche Beeinträchtigung ein, so hat die Telegraphenverwaltung auf ihre Kosten die Leitungen zu beseitigen.

Beeinträchtigungen in der Benutzung eines Grundstückes, welche ihrer Natur nach lediglich vorübergehend sind, stehen der Führung der Telegraphenlinien durch den Luftraum nicht entgegen, doch ist der entstehende Schaden zu ersetzen. Ebenso ist für Beschädigungen des Grundstückes und seines Zubehörs, die infolge der Führung der Telegraphenlinien durch den Luftraum eintreten, Ersatz zu leisten.

Die Beamten und Beauftragten der Telegraphenverwaltung, welche sich als solche ausweisen, sind befugt, zur Vornahme notwendiger Arbeiten an Telegraphenlinien, insbesondere zur Verhütung und Beseitigung von Störungen, die Grundstücke nebst den darauf befindlichen Baulichkeiten und deren Dächern mit Ausnahme der abgeschlossenen Wohnräume während der Tagesstunden nach vorheriger schriftlicher Ankündigung zu betreten. Der dadurch entstehende Schaden ist zu ersetzen.

§ 13. Die auf den Vorschriften dieses Gesetzes beruhenden Ersatzansprüche verjähren in zwei Jahren. Die Verjährung beginnt mit dem Schlusse des Jahres, in welchem der Anspruch entstanden ist.

Ersatzansprüche aus den §§ 2, 4, 5 und 6 sind bei der von der Landes-Centralbehörde bestimmten Verwaltungsbehörde geltend zu machen. Diese setzt die Entschädigung vorläufig fest.

Gegen die Entscheidung der Verwaltungsbehörde steht binnen einer Frist von einem Monat nach der Zustellung des Bescheids die gerichtliche Klage zu.

Für alle anderen Ansprüche steht der Rechtsweg sofort offen.

§ 14. Die Bestimmung darüber, welche Behörden in jedem Bundesstaat untere und höhere Verwaltungsbehörden im Sinne dieses Gesetzes sind, steht der Landes-Centralbehörde zu.

§ 15. Die bestehenden Vorschriften und Vereinbarungen über die Rechte der Telegraphenverwaltung zur Benutzung des Eisenbahngeländes werden durch dieses Gesetz nicht berührt.

§ 16. Telegraphenverwaltung im Sinne dieses Gesetzes ist die Reichs-Telegraphenverwaltung, die Königlich bayerische und die Königlich württembergische Telegraphenverwaltung.

§ 17. Die Vorschriften dieses Gesetzes finden auf Telegraphenlinien, welche die Militärverwaltung oder Marineverwaltung für ihre Zwecke herstellen lässt, entsprechende Anwendung.

§ 18. Unter Zustimmung des Bundesrates kann der Reichskanzler Anordnung treffen:

1. über das Mass der Ausästungen;
2. darüber, welche Änderungen der Telegraphenlinien im Sinne des § 7 Absatz 1 als wesentlich anzusehen sind;
3. über die Anforderungen, welche an den Plan auf Grund des § 7 Absatz 1 im Einzelnen zu stellen sind;
4. über die unter Zuziehung der Beteiligten vorzunehmenden Ortsbesichtigungen und über die dabei entstehenden Kosten;
5. über das Einspruchsverfahren und die dabei entstehenden Kosten;
6. über die Höhe der den Strassenbau- und Polizeibeamten zu gewährenden Vergütungen für die im Interesse der Reichs-Telegraphenverwaltung geforderten Dienstleistungen.

§ 19. Dieses Gesetz ist am 1. Januar 1900 in Kraft getreten.

Auf die vorhandenen, zu öffentlichen Zwecken dienenden Linien der Telegraphenverwaltung (§§ 16 und 17) findet dieses Gesetz Anwendung, soweit nicht entgegenstehende besondere Vereinbarungen getroffen sind.

Ausführungsbestimmungen zum Telegraphenwege-Gesetz. Die Regierung hat auf Grund des § 18 des Telegraphenwege-Gesetzes vom 18. Dezember 1899 die folgenden vom 26. Januar 1900 datierten Ausführungsbestimmungen zum Telegraphenwege-Gesetz erlassen:

1. »Die Ausästungen sind in dem Masse zu bewirken, dass die Baumpflanzungen mindestens 60 *cm* nach allen Richtungen von den Leitungen entfernt sind. Ausästungen über die Entfernung von 1 *m* im Umkreise der Leitungen können nicht verlangt werden. Innerhalb dieser Grenzen sind die Ausästungen so weit vorzunehmen, als zur Sicherung des Telegraphenbetriebes erforderlich ist.

2. Wesentliche Änderungen der Telegraphenlinien im Sinne des § 7 Absatz 1 sind:

a) bei oberirdischen Linien, für deren Stützpunkte die Verkehrswege benutzt werden,
die Umwandlung einer Linie mit einfachen Gestängen in eine solche mit Doppelgestängen,
die erstmalige Ausrüstung des Gestänges mit Querträgern,
wenn diese weiter als 60 *cm* von der Stange seitlich ausladen,
die Änderung der Richtungslinie, insbesondere die Umlegung der Linie von der einen auf die andere Seite des Verkehrsweges;

b) bei oberirdischen Linien, welche die Verkehrswege nur im Luftraum überschreiten,
die Änderung der Richtungslinie.

Beschränken sich die unter a) und b) bezeichneten Änderungen auf einzelne Stützpunkte, so sind sie als wesentlich nicht anzusehen.

c) bei unterirdischen Linien
die Vermehrung, Vergrösserung oder Umlegung der zur Aufnahme der Kabel dienenden Kanäle,
die Vermehrung oder Umlegung der unmittelbar in den Erdboden eingebetteten Kabel.

Umlegungen auf kurzen Strecken, welche mit Zustimmung des Wegeunterhaltungspflichtigen sowie der Unternehmer der von der Umlegung betroffenen besonderen Anlagen geschehen, sind als wesentliche Änderungen nicht anzusehen.

3. Der nach § 7 Absatz 1 aufzustellende Plan soll im einzelnen folgenden Anforderungen entsprechen:

Er soll eine Wegezeichnung im Massstabe von mindestens 1 : 50 000 enthalten, in welche die Richtung der Telegraphenlinie eingetragen ist und aus der sich erkennen lässt, welcher Teil des Verkehrsweges benutzt werden soll. Ferner sind in dem Plane anzugeben:

a) bei oberirdischen Linien, für deren Stützpunkte die Verkehrswege benutzt werden,
der mittlere Stangenabstand,
die für die Linie oder für deren einzelne Teile in Aussicht genommenen Stangenlängen,
das Stangenbild,
bei Kreuzungen der Wege die Mindesthöhe des untersten Drahtes über der Oberfläche des Verkehrsweges, im übrigen die Mindesthöhe des untersten Drahtes über dem Fusspunkte der Stange;

b) bei oberirdischen Linien, welche die Verkehrswege nur im Luftraum überschreiten,
die Bezeichnung der beiden seitlichen Stützpunkte,
deren Stangenbild,
die Mindesthöhe des untersten Drahtes über der Oberfläche des Verkehrsweges;

c) bei unterirdischen Linien,
die Tiefe des Kabellagers unter der Oberfläche des Verkehrsweges,
die Art und Grösse der zur Einbettung der Kabel etwa herzustellenden Kanäle.

Wird die Umlegung oder Veränderung vorhandener oder solcher in der Vorbereitung befindlicher, besonderer Anlagen verlangt, deren Herstellung im öffentlichen Interesse liegt, so ist in dem Plane darauf hinzuweisen.

Die Behörde, welche den Plan auslegt, hat ihn mit ihrer Unterschrift zu versehen. Die Post- oder Telegraphenämter, bei welchen der Plan ausgelegt wird, haben den ersten Tag der Auslegung auf dem Plan zu vermerken.

4. Die Telegraphenverwaltung hat vor der Feststellung des Planes auf Verlangen eines der Beteiligten, welchen nach § 7 Absatz 2 der Plan besonders mitzuteilen ist, bei einer Ortsbesichtigung mitzuwirken. Die Kosten der Ortsbesichtigung trägt die Telegraphenverwaltung.

Den Beteiligten wird für ihr Erscheinen oder für ihre Vertretung vor der Behörde eine Entschädigung nicht gewährt.

5. Für das Einspruchsverfahren gelten folgende Bestimmungen:

a) Der Einspruch ist schriftlich oder zu Protokoll zu erklären. Die Einspruchsschrift soll die zur Begründung des Einspruchs dienenden Thatsachen enthalten.

Zur Entgegennahme des Einspruchs sind an Stelle der Behörde, die den Plan ausgelegt hat, auch die Post- und Telegraphenämter ermächtigt, bei denen der Plan ausgelegt ist.

b) Nach Ablauf der Einspruchsfrist werden die Einsprüche gegen den Plan, sofern dies die Behörde, die den Plan ausgelegt hat, zur Aufklärung der Sachlage oder zur Herbeiführung einer Verständigung für zweckdienlich erachtet in einem Termine vor einem Beauftragten der genannten Behörde erörtert.

c) Zu dem Termine werden diejenigen, welche Einspruch erhoben haben, vorgeladen.

Denjenigen, welchen der Plan gemäss § 7 Absatz 2 mitgeteilt ist, wird von dem Termine Kenntnis gegeben.

Die Erschienenen werden mit ihren Erklärungen zu Protokoll gehört.

Der Beauftragte hat die Verhandlungen nach ihrem Abschlusse der Behörde, die den Plan ausgelegt hat, einzureichen.

d) Die Behörde, die den Plan ausgelegt hat, übersendet die Verhandlungen, sofern die erhobenen Einsprüche nicht zurückgenommen sind, der höheren Verwaltungsbehörde.

e) Die höhere Verwaltungsbehörde entscheidet auf Grund der ihr übersandten Verhandlungen und des Ergebnisses der etwa weiter von ihr angestellten Ermittelungen.

Sie hat ihre Entscheidung der Behörde, die den Plan ausgelegt hat, sowie denjenigen, welche Einspruch erhoben haben, zuzustellen.

f) Die Beschwerde ist bei der höheren Verwaltungsbehörde, deren Entscheidung angefochten werden soll, oder bei der Landes-Centralbehörde schriftlich einzulegen und zu rechtfertigen.

g) Zustellungen erfolgen unter entsprechender Anwendung der §§ 208 bis 213 der Civilprozessordnung (Reichs-Gesetzbl. 1898, S. 410 ff.).

h) Die in dem Einspruchsverfahren zugezogenen Zeugen und Sachverständigen erhalten Gebühren nach Massgabe der Gebührenordnung für Zeugen und Sachverständige (Reichs-Gesetzbl. 1898, S. 689 ff.).

i) Im Einspruchsverfahren kommen Gebühren und Stempel nicht zum Ansatze.

Die durch unbegründete Einwendungen erwachsenen Kosten fallen demjenigen zur Last, der sie verursacht hat; die übrigen Kosten trägt die Telegraphenverwaltung. Die Bestimmung der No. 4 Absatz 2 findet Anwendung.

k) Im Einspruchsverfahren ist von Amtswegen über die Verpflichtung zur Tragung der entstandenen Kosten und über die Höhe der zu erstattenden Beträge zu entscheiden.

Die Kosten werden durch Vermittelung der höheren Verwaltungsbehörde in derselben Weise beigetrieben wie Gemeindeabgaben.

l) Das Einspruchsverfahren ist in allen Instanzen als schleunige Angelegenheit zu behandeln.

6. Soweit den Strassenbau- und Polizeibeamten die Beaufsichtigung und die vorläufige Wiederherstellung der Reichstelegraphenleitungen übertragen wird, erhalten sie dafür eine Vergütung von 3 bis 4 Mark für das Jahr und das Kilometer Linie. Für die Ermittelung der Thäter vorsätzlicher oder fahrlässiger Beschädigungen der Reichstelegraphenlinien erhalten die Strassenbau- und Polizeibeamten Belohnungen bis zur Höhe von 15 Mark.

c) Vorschriften auf bahnfiskalischem Gelände im Königreich Preussen.

In vielen Fällen beginnt, fährt, kreuzt oder endet eine elektrische Bahn auf bahnfiskalischem Gelände. Um auch hier allgemeine Bestimmungen für die Konzessionierung zur Hand zu haben, sind Vorschriften der preussischen Staatsbahnverwaltung für die Einrichtung elektrischer Starkstromanlagen erschienen, deren Wortlaut hier folgt:

§ 1. Allgemeine Vorschriften über die Anlage der Starkstromleitungen.

1. Die Starkstromleitungen müssen, soweit deren Anlage innerhalb des eisenbahnfiskalischen Geländes zugelassen wird, als unterirdische Kabel hergestellt werden. Nur bei Fahrleitungen elektrischer Bahnen und Wechselstromleitungen, bei letzteren, wenn deren genügende Isolierung bei Verwendung unterirdischer Kabel wegen zu hoher Spannung nicht zu erzielen sein würde, ist oberirdische Leitungsführung gestattet.

2. Die Leitungen müssen in allen Fällen so angelegt werden, dass eine nachweisbar störende induktorische Beeinflussung der Eisenbahnzwecken dienenden Schwachstromleitungen ausgeschlossen ist.

3. Auch muss dafür Sorge getragen werden, dass Beschädigungen von Personen oder von eisenbahnfiskalischem Eigentum infolge elektrolytischer oder sonstiger Wirkungen des elektrischen Stromes nicht eintreten können.

§ 2. Besondere Vorschriften über die Anlage der Starkstromleitungen.

1. Die Verlegung der unterirdischen Starkstromkabel hat, soweit dieselben unter Gleisen liegen, in Röhren aus hartgebranntem Thon oder Cement oder in gemauerten Kanälen zu erfolgen. Bei den oberirdischen Leitungen ist durch möglichst sichere Bauart (kräftige Maste, kurze Spannweiten) Leitungs- und Gestängebrüchen vorzubeugen.

2. Alle Leitungen müssen so angeordnet sein, dass Ausbesserung oder Ersatz derselben ohne Störung des Eisenbahnbetriebes bewirkt werden kann.

3. Um bei den oberirdisch geführten Leitungen zu verhindern, dass infolge eines Drahtbruches oder beim Bruch eines Gestänges Starkstrom auf die Staatsbahnanlagen übergeht, ist Vorsorge zu treffen, dass bei einem derartigen Vorkommnis eine sofortige selbstthätige Unterbrechung des Stromes eintritt; ausserdem sind unter Wechselstromleitungen für Hochspannung Fangnetze oder Schutzbrücken anzuordnen.

4. Die oberirdischen Leitungen der Staatseisenbahnverwaltung hat der Unternehmer der Starkstromanlage an allen denjenigen Stellen auf eisenbahnfiskalischem Gelände, an welchen oberirdische Starkstromleitungen zur Ausführung gelangen, auf seine Kosten soweit als unterirdische Kabel herzustellen, als dies zur Erreichung vollständiger Sicherheit gegen Berührung mit den Starkstromleitungen erforderlich ist.

5. Dasselbe gilt von den oberirdischen Leitungen, die seitens der Staatseisenbahnverwaltung nach Ausführung der Starkstromanlage hergestellt werden.

Von der unterirdischen Führung der Leitungen der Staatseisenbahnverwaltung in dem bezeichneten Umfange kann nur abgesehen werden, wenn nach Lage der örtlichen Verhältnisse eine Berührung der beiderseitigen Leitungen unter allen Umständen ausgeschlossen ist.

§ 3. Bestimmungen über die Bauausführung.

1. Der Unternehmer der Starkstromanlage hat vor der Bauausführung von den auf eisenbahnfiskalischem Gelände geplanten Starkstromleitungen nebst Zubehör genaue Lagepläne der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion in zwei Ausfertigungen zur Genehmigung vorzulegen. Eine dieser beiden Ausfertigungen verbleibt im Besitz der königlichen Eisenbahndirektion. Die erforderlichen Grundlagen zur Herstellung der Lagepläne werden dem Unternehmer auf Wunsch seitens der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion zugänglich gemacht.

2. Die Ausführung aller auf eisenbahnfiskalischem Gelände infolge der Anlage der Starkstromleitungen erforderlichen Arbeiten geschieht unter Aufsicht der Staatseisenbahnverwaltung. Für sämtliche Einzelheiten der Ausführung ist der Unternehmer allein verantwortlich.

3. Der Starkstromunternehmer haftet für die etwaige Vermehrung der Unterhaltungskosten der eisenbahnfiskalischen Anlagen, welche durch die Einrichtung der Starkstromleitung entsteht.

§ 4. Verbesserung unzulänglicher Einrichtungen.

1. Erweisen sich die bei Ausführung der Starkstromanlage getroffenen Einrichtungen als unzulänglich, um Unzuträglichkeiten von den Eisenbahnanlagen fernzuhalten, so hat der Unternehmer diese Einrichtung auf seine Kosten zu verbessern oder durch andere, zweckdienlichere zu ersetzen.

2. Auch ist die Staatseisenbahnverwaltung berechtigt, die erforderlichen Massregeln zur Beseitigung von Unzuträglichkeiten auf Kosten des Unternehmers selbst zu treffen, falls letzterer sich weigert, dieser Verpflichtung nachzukommen.

§ 5. Betriebseinstellung der Starkstromanlage.

Wenn durch die Starkstromanlage Unzuträglichkeiten für die Staatseisenbahnverwaltung sich ergeben, so muss, wenn dies nach Ermessen der letzteren erforderlich erscheint, der Betrieb der Starkstromanlage in entsprechendem Umfange sofort und solange eingestellt werden, bis die Beseitigung der die Unzuträglichkeiten bedingenden Ursachen erfolgt ist.

§ 6. Abänderung der Anlagen der Staatsbahnverwaltung.

1. Etwaige durch Änderungen der Anlagen der Staatseisenbahnverwaltung erforderlich werdende Abänderungen der Starkstromanlage hat der Unternehmer auf Erfordern der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion auf seine Kosten zu bewirken.

2. Ebenso hat der Unternehmer der Starkstromanlage diejenigen Kosten zu tragen, welche dadurch entstehen, dass infolge der Herstellung oder des Bestehens der Starkstromleitungen die Staatseisenbahnverwaltung Abänderungen ihrer Einrichtungen für nötig erachten sollte.

§ 7. Abänderung der Starkstromanlage.

Zur Ausführung von Änderungen oder Erweiterungen des auf eisenbahnfiskalischem Gelände liegenden Teiles der Starkstromleitungen nebst Zubehör hat der Unternehmer die Genehmigung der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion einzuholen.

§ 8. Haftbarkeit des Unternehmers der Starkstromanlage.

Bezüglich der Haftpflicht für Unfälle und Schäden, welche auf dem Gebiete der Staatseisenbahnverwaltung infolge der daselbst vorhandenen Starkstromleitungen nebst Zubehör eintreten, bewendet es bei den gesetzlichen Bestimmungen mit der Massgabe, dass der Unternehmer für alle in seinem Auftrage thätigen Personen die Haftpflicht übernimmt, soweit nicht die Eisenbahnverwaltung oder deren Organe ein Verschulden trifft.

d) Strassenbenutzung im Königreich Sachsen.

Über die Benutzung der Staatsstrassen zur Anlage elektrischer Leitungen hat das königlich sächsische Finanzministerium folgendes bestimmt: Zur Anlegung der Leitung bedarf es der Genehmigung des Finanzministeriums, bei Erweiterung bereits bestehender Anlagen ohne Erstreckung auf neue Fluren der Genehmigung der betreffenden Amtshauptmannschaft, welche jedoch zunächst die Strassen- und Wasserbauinspektion hierüber zu hören hat. Aus Anlass der Strassenbenutzung wird Bezeigungsgeld nicht erhoben von elektrischen Leitungen des Reiches oder des sächsischen Staates, sowie von solchen in Gemeindebesitz befindlichen Leitungen, welche nur schwache Ströme erhalten, also insbesondere den Zwecken des Fernschreib- oder Fernsprechbetriebes dienen. Von Starkstromleitungen im Besitz von Gemeinden (insbesondere zur Abgabe von Licht und Kraft) und von elektrischen Leitungen aller Art im Besitze von Privaten wird Bezeigungsgeld nach Massgabe derjenigen Strassenlänge erhoben, längs deren die Leitungen über oder unter dem Areal der Strasse sich befinden. Das Bezeigungsgeld beträgt jährlich: bei Leitungen im Besitze von Gemeinden für je 100 *m* Länge 50 ₰, bei Leitungen im Besitze von Privaten für je 100 *m* Länge 1 *M*. Bei der Berechnung des Betrages sind überschiessende Längen von weniger als 50 *m* unberücksichtigt zu lassen, während für solche von 50 *m* und mehr der für 100 *m* geltende Satz anzunehmen ist. Für kürzere Längen als 50 *m* wird ein Bezeigungsgeld überhaupt nicht erhoben; ebenso ist bei Leitungen entlang von Strasseneisenbahnen, welche dem Betriebe der letzteren dienen, von Erhebung eines besonderen Bezeigungsgeldes für die Leitung neben der für die Strassenbahn zu zahlenden Gebühr abzusehen. Der Betrag ist jedesmal nach dem Sachstande am Anfange des ersten Monats nach der Inbetriebsetzung der Leitung und später nach demjenigen zu Anfang jedes neuen Jahres festzustellen. Die Zahlung ist sodann jedesmal binnen einem Monat, von dem betreffenden Zeitpunkt ab gerechnet, zu leisten. Soweit bei bestehenden Leitungen die zu zahlenden Bezeigungsgelder schon geordnet sind oder die Genehmigung ohne Forderung von Bezeigungsgeld erteilt ist, hat es hierbei bis auf weiteres zu bewenden. Sollten jedoch Anträge der Beteiligten auf eine Abänderung eingehen oder bei Veränderung der Leitung eine Neuregelung nötig werden, so sind gegenwärtige Bestimmungen hierfür anzuwenden. Die Strassen- und Wasser-Bauinspektionen und Bauverwaltereien bezw. Forstrentämter haben dafür, dass die Zahlungen gehörig erfolgen, besorgt zu sein.

e) Vorschriften für Vorarbeiten.

Die konzessionierenden Behörden verlangen bei Einzeichnung eines Bahnprojektes die Ausführung der Unterlagen nach einem besonderen Schema. Das königlich sächsische Finanzministerium, als die in Sachsen massgebende Behörde, fordert als Projektunterlagen für elektrische Bahnanlagen folgendes:

1. Übersichtsplan in 1 : 10000.
2. Grundriss in 1 : 1000 mit Angabe der Stationen in 100 *m* Abstand, der Kurven-Anfangs- und -Endpunkte mit Anschrift der Halbmesser; Bezeichnung der Leitungs- und Spanndrahtlage und ihrer Stützpunkte.
3. Längenprofil im Massstabe des Grundrisses, die Höhen nach Bedarf um das 10- oder 20fache vergrössert: also 1 : 1000 für die Längen und 1 : 100 oder 1 : 50 für die Höhen.
4. Querprofile im Massstabe von 1 : 100 oder 1 : 50, für die einfacheren Strecken in 100 oder 200 *m* Abstand, im übrigen nach Bedarf, wie es der Zweck, die verschiedenen Lagen der Linie kenntlich zu machen, erfordert.
5. Genaue Darstellung des Oberbaues (Schienen- und Laschenprofil in 1 : 1, Oberbauprofil und Weichenkonstruktion in 1 : 5), sowie der anzuwendenden Gestänge (event. Leitungskanäle), Spanndrähte und Leitungen mit Massangaben.

6. Genaue Darstellung der Betriebsmittel im Massstabe von mindestens 1 : 15 mit Angabe der Gewichte, maximalen Belastungen und der Leistungsfähigkeit der Motoren, Sonderzeichnung der Bremsvorrichtungen. Schematische Zeichnung der Schaltungen.

7. Darstellungen der zu errichtenden oder mit zu benutzenden Kunst- und Hochbauten im Massstabe 1 : 100 und der Centralstationseinrichtung.

8. Eingehender Erläuterungsbericht mit Angabe der in den verschiedenen Anlageteilen vorkommenden elektrischen Grössen und Festigkeitsverhältnisse.

9. Kostenanschlag der Anlage.

10. Fahrplanentwurf (graphisch).

Anmerkung: Die Pläne und Zeichnungen sind im Formate von 20×30 *cm* zusammengelegt, die Schriftstücke in Aktenformat und alle Gegenstände in doppelten Exemplaren vorzulegen.

Die Bestimmungen hierfür in Preussen sind diesen ähnlich.

Bestimmungen über die für projektierte elektrische Bahnen erforderlichen Vorlagen in Österreich.

Die Vorlagen der Projekte für eine elektrisch zu betreibende Eisenbahn unterliegt im allgemeinen denselben Vorschriften, welche auch für eine Lokomotivbahn massgebend sind. Insbesondere sind bezüglich der elektrotechnischen Vorrichtungen gleichzeitig mit dem Detailprojekte der Bahnanlage folgende Pläne in je zwei Exemplaren vorzulegen.

1. Die Pläne der Kraftstation mit der Wasserbezugs-, Kessel-, Feuerungs- und Motorenanlage im Massstabe von 1 : 20.

2. Die Detailpläne der Stromerzeugungsanlage im Massstabe von 1 : 10 mit den Leit-, Schalt- und Messapparaten.

3. Pläne der Fahrbetriebsmittel im Massstabe 1 : 10 und Details des Motorwagens, insbesondere bezüglich der Schalt- und Bremsvorrichtung, der Federung, der Motoraufhängung etc. insofern dieselben nicht schon aus dem Übersichtsplane ganz klar zu entnehmen sind, im Massstabe von 1 : 5.

4. Skizzen der Leitungsanlage und des Linienmateriales.

5. Das für die Stromerzeugung und das Schaltbrett massgebende Schema.

6. Das für den Motorwagen massgebende Schaltschema.

7. Ein Stromverteilungsschema, welches unter Angabe der Längen der elektrischen Sektionen, der Leitungsquerschnitte, Widerstände, Spannungsverluste, Stromstärken etc. den rechnungsmässigen Nachweis liefert, dass die ganze elektrotechnische Anlage für die weitestgehende Inanspruchnahme durch den Betrieb genügt.

8. Ein technischer Bericht zur Erläuterung der vorerwähnten Pläne und schematischen Darstellungen sowie des ganzen Projektes.

Der verantwortliche Ingenieur ist verpflichtet den Beginn der Montierung beim k. k. Eisenbahnministerium anzuzeigen und dabei insbesondere über jene später nicht mehr zugänglichen Teile wie: Erdkabel, Kuppelungen etc. zu berichten, welche die Behörde event. noch vor der Verschüttung zu untersuchen beabsichtigen könnte.

f) Unfallbehandlung.

Der Widerstand, den der menschliche Körper dem elektrischen Strome bietet ist von A. Monmerque zu 3000 bis 8000 Ohm bestimmt worden. Gleichzeitig fand dieser Forscher, dass ein Gleichstrom von 20 Milliampere noch erträglich, ein Wechselstrom von derselben Stärke aber schon schmerzhaft ist. Wechselströmen gegenüber bietet der menschliche Körper auch einen geringeren Widerstand, sodass schon Wechselströme von geringer Spannung, ca. 50 Volt, höchst unangenehme Empfindungen hervorrufen können. Interessante Versuche über das Verhalten des tierischen und menschlichen Körpers gegenüber Wechselströmen von sehr hoher Wechselzahl hat A. d'Arsonval angestellt. Er brachte kleine Tiere in das Innere einer von Strömen hoher Wechselzahl durchflossenen Spule und beobachtete durchweg eine bedeutende Zunahme des Verbrennungs-

prozesses, die sich in einer stark beschleunigten Gewichtsabnahme zeigte. Um diese Beobachtung hygienisch zu verwenden, wurden durch den Körper zweier Diabetiker und eines Fettleibigen täglich einige Minuten lang Ströme hoher Wechselzahl von 350 bis 450 Milliampère Stärke geschickt. Der Erfolg war ein befriedigender bei den Diabetikern, dagegen musste bei dem Fettleibigen die Behandlung unterbrochen werden, weil Atemnot eintrat.

Wenn wir die Unglückschronik der durch Hochspannungsströme Getroffenen überschauen, so haben wir fast überall die gleiche, unheilvolle Wirkung: den augenblicklichen Tod der Betroffenen. Manchmal kann der Verunglückte noch um Hilfe rufen, ist aber, wie es stets in solchen Fällen zu gehen pflegt, nicht imstande, von der Leitung loszukommen, um die sich die Hand bei dem Durchgang des Stromes krampfhaft schliesst. Es hat sich auch öfters gezeigt, dass Tiere noch leichter als Menschen erschlagen werden, sodass Versuche, die mit Tieren angestellt werden, durchaus keine unbedingte Giltigkeit für den Menschen haben. Die Aussichten der rettenden Hilfeleistung sind bei der eben geschilderten grausigen Wirkung der Hochspannungsströme leider nicht sehr gross, aber natürlich dürfen wir trotzdem die vom elektrischen Schlage Betroffenen nicht ohne weiteres aufgeben, denn es hätte wohl mancher schon dem Tode entrissen werden können, wenn man ihn nur rechtzeitig von der verderblichen Leitung entfernt und sofort Belebungsversuche angestellt hätte.

Das wichtigste ist also zunächst, den vom elektrischen Schlag Getroffenen, der in der Regel den Draht fest umklammert hat, von demselben los zu bringen, was manchmal mit der grössten Schwierigkeit verknüpft ist. Zu diesem Zweck hat Dr. W. Hedley einige sehr bemerkenswerte Anweisungen gegeben, mittels deren man unter Umständen ein sonst verlorenes Menschenleben ohne eigene Gefahr retten kann. Darnach hat man, falls in erreichbarer Nähe ein Stromunterbrecher sich befindet, zuerst den Strom abzustellen, in allen anderen Fällen suche man den Körper von der Leitung loszureissen. Dabei darf derselbe nicht an Händen, Gesicht etc. berührt werden, wohl aber kann man ihn fest an den Kleidern packen oder schnell einen Mantel, eine Decke um ihn werfen, um ihn mittels dieser Hülle anzupacken. Ist es so nicht möglich, den Verunglückten los zu bringen, so zieht man unter seinen Körper ein Tuch, ein Brett, einige Stangen oder was nur sonst bei der Hand ist, hindurch, lässt den Leib damit völlig aufheben, sodass die Verbindung mit der Erde unterbrochen ist, und wird nun die Hände leicht von der Leitung entfernen können.

Was dann die Wiederbelebungsversuche anlangt, so empfiehlt es sich, das d'Arsonval'sche Verfahren anzuwenden. Nach den Vorschriften dieser Methode muss der leblose Körper, wenn er von der Leitung befreit ist, sofort in einen luftigen Raum gebracht werden. Behufs Belebung der Atmungsorgane ist dem Erschlagenen der Mund zu öffnen, die Zunge fest zwischen Daumen und Zeigefinger zu fassen und kräftig heraus zu ziehen, alsdann lässt man sie wieder zurückgehen. Dies wird etwa zwanzigmal in der Minute wiederholt und eine halbe oder ganze Stunde fortgesetzt, auch noch länger, bis sich entweder das Leben wieder regt oder jede Aussicht, es wieder zurückzurufen, aufgegeben werden muss. Damit kann gleichzeitig die künstliche Atmung verbunden werden, die in einem abwechselnden Anpressen der Ellbogen gegen die Brustrippen, ihrer bogenförmigen Ausbreitung und Erhebung bis über den Kopf besteht.

Die folgende Anleitung zur ersten Hilfeleistung bei Unfällen in elektrischen Betrieben ist von dem Verbande Deutscher Elektrotechniker auf der Jahresversammlung zu Hannover 1899 (vergl. E T Z 1899, H. 42, S. 728) genehmigt worden.

I. Verbrennungen.

1. Bei blosser Rötung und Schmerz kühle man durch kaltes Wasser (Wasserleitung) oder Eis, lege einen Verband mit Watte an, die in Brandsalbe getaucht ist, und befestige darüber eine Binde.

2. Bei Blasenbildung sind die Blasen nicht abzureissen, sondern mit einer Nadel, die vorher ausgeglüht ist, aufzustechen, damit das Wasser heraus-

fliesst. Nach dem Auslaufen der Flüssigkeit ist eine vierfache Lage von Jodoformgaze und darüber Watte und eine Binde zu legen. (Vor dem Abschneiden der Gaze sind die Hände auf das Sorgfältigste in Wasser und hierauf in Sublimatlösung 1 : 1000 zu waschen.)

3. Bei Verkohlungen und Schorfbildungen ist auf die betreffende Stelle eine vierfache Lage von Jodoformgaze und darauf Watte und Binde zu legen.

II. Bewusstlosigkeit.

1. Unter allen Umständen ist sofort nach einem Arzt zu schicken.

2. Alle den Körper des Verunglückten beengenden Kleidungsstücke, (Hemdkragen, Beinkleider) sind zu öffnen.

3. Man lege den Verunglückten auf den Rücken und überzeuge sich vor allem davon, ob noch eine Spur von Atmung vorhanden ist. In diesem Falle bringe man den Kopf in etwas erhöhte Lage und mache Umschläge mit kaltem Wasser oder Eis auf die Stirn. Ferner empfiehlt es sich in diesem Falle, eine Einspritzung mit Kampheröl (eine Spritze voll) unter die Haut zu machen. Die Einspritzung ist nach zehn Minuten zu wiederholen, falls noch kein Arzt gekommen sein sollte.

4. Ist keine Atmung mehr nachweisbar, so lege man den Verunglückten auf den Rücken und bringe ein Polster aus zusammengelegten Kleidungsstücken, z. B. einen zusammengerollten Mantel, unter die Schultern. Das Polster muss so gross sein, dass das Rückgrat gestützt wird, der Kopf dagegen frei nach hinten überhängt. Nun kniee man hinter dem Kopf des Betäubten nieder, das Gesicht ihm zugewandt, ergreife beide Arme unterhalb der Ellenbogen und ziehe sie über seinen Kopf hinweg, sodass man sie über seinem Kopf fast ganz zusammenbringt (Einatmung). In dieser Lage sind die Arme zwei bis drei Sekunden lang fest zu halten. Dann bewege man sie abwärts, beuge sie und presse die Ellenbogen mit dem eigenen Körpergewicht fest gegen die Brustseiten des Betäubten (Ausatmung). Nach zwei bis drei Sekunden strecke man die Arme wieder über dem Kopfe des Betäubten aus und wiederhole das Ausstrecken und Anpressen der Arme möglichst regelmässig und ohne Übereilung etwa 15 mal in der Minute.

Sind zwei Helfer zugegen, so fasse der zweite während dieser Versuche die Zunge des Betäubten mit einem Taschentuche, ziehe sie kräftig heraus, so oft die Arme über den Kopf gezogen werden, und lasse sie zurückgehen, wenn die Arme zur Brust geführt werden. Diese Massregel befördert die Atmung sehr. Wenn der Mund nicht leicht aufgeht, öffne man ihn gewaltsam mit einem Stück Holz oder dergl.

Sind noch mehr Helfer zur Hand, so sind die oben aufgeführten Versuche von zweien auszuführen, indem jeder einen Arm ergreift, und beide gleichzeitig auf das Kommando 1, 2—3, 4 diese Bewegungen machen.

Die beschriebene künstliche Atmung ist solange fortzusetzen, bis die regelmässige natürliche Atmung wieder eingetreten ist. Wenn das nicht der Fall ist, muss die künstliche Atmung bis zur Ankunft des Arztes, mindestens aber zwei Stunden lang fortgesetzt werden, ehe man auf weitere Wiederbelebungsversuche verzichten darf.

5. Das Einflössen irgend welcher Flüssigkeit durch den Mund ist zu unterlassen.

g) Sicherheitsregeln für elektrische Bahnanlagen,

aufgestellt vom Verband Deutscher Elektrotechniker.

Die im Folgenden gegebenen Vorschriften gelten für die elektrischen Einrichtungen von Bahnanlagen mit oberirdischer Zuleitung, sowie mit Akkumulatoren in den Wagen, soweit die Betriebsspannung zwischen 250 und 1000 Volt liegt.

Ergänzende Vorschriften für andere Systeme bleiben vorbehalten.

Diejenigen Teile von Bahnanlagen, welche mit mehr als 1000 Volt betrieben werden, fallen unter die Hochspannungsvorschriften.

I. Centralen und Kraftstationen.

§ 1. Für die Kraftstationen, welche dem elektrischen Bahnbetrieb dienen, gelten die Sicherheitsvorschriften für elektrische Mittelspannungsanlagen.

Wagenschuppen sind als Betriebsräume im Sinne der Mittelspannungsvorschriften anzusehen.

II. Leitungsanlagen.

Auch für die Leitungsanlagen elektrischer Bahnen gelten die Sicherheitsvorschriften für elektrische Mittelspannungsanlagen, jedoch mit folgenden Ausnahmen:

§ 2. An Stelle des § 9 der Vorschriften für Mittelspannung treten folgende Bestimmungen:

a) Für Bahnen sind wetterbeständig isolierte Freileitungen zulässig.

b) Fahrdrähte und Speiseleitungen, welche nicht auf Porzellandoppelglocken verlegt sind, müssen gegen Erde doppelt isoliert sein.

c) Die Höhe der Leitungen über öffentlichen Strassen darf auf offener Strecke nicht unter 5 *m* betragen. Eine geringere Höhe ist bei Unterführungen zulässig, wenn geeignete Vorsichtsmassregeln getroffen oder Warnungstafeln angebracht werden.

d) Bei elektrischen Bahnen auf besonderem Bahnkörper, soweit dieser dem Publikum nicht zugänglich ist, können die Leitungen in beliebiger Höhe verlegt werden, wenn bei der gewählten Verlegungsart die Strecke von instruiertem Personal ohne Gefahr begangen werden kann. An Haltestellen und Übergängen sind die Leitungen gegen zufällige Berührung durch das Publikum zu schützen und Warnungstafeln anzubringen.

e) Spannweite und Durchhang müssen derart bemessen werden, dass Gestänge aus Holz eine zehnfache und aus Eisen eine vierfache Sicherheit, Leitungen bei minus 20° C. eine fünffache Sicherheit (bei Leitungen aus hartgezogenem Metall eine dreifache Sicherheit) dauernd bieten. Dabei ist der Winddruck mit 125 *kg* für 1 *qm* senkrecht getroffener Fläche in Rechnung zu bringen.

f) Den örtlichen Verhältnissen entsprechend sind Freileitungen durch Blitzschutzvorrichtungen zu sichern, die auch bei wiederholten Blitzschlägen wirksam bleiben. Es ist dabei auf eine gute Erdleitung Bedacht zu nehmen, die unter möglichster Vermeidung von Krümmungen auszuführen ist. Fahrschienen können als Erdleitung benutzt werden.

g) Alle blanken oberirdischen Leitungen in bebauten Strassen müssen streckenweise ausschaltbar sein.

h) Bezüglich der Sicherung vorhandener Telephon- und Telegraphenleitungen gegen Störungen durch elektrische Bahnen wird auf § 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 verwiesen.

§ 3. Fahrdrähte unterliegen nicht der Bestimmung, dass ihre Anschluss- und Abzweigungsstellen vom Zuge entlastet sein müssen; dieselben müssen aber an den Unterbrechungen verankert werden.

§ 4. An die Stelle des § 24 b der Mittelspannungsvorschriften tritt folgende Bestimmung: Der Isolationswiderstand von oberirdischen Bahnleitungen muss, bei Regenwetter und mit der Betriebsspannung gemessen, mindestens 50000 Ohm für das Kilometer einfacher Länge betragen.

In mindestens halbjährigen Zwischenräumen sollen besondere Kontrollmessungen vorgenommen werden, bei denen jede Speiseleitung mit dem zugehörigen Teile des Fahrdrahtes als besonderer Messkreis gilt. Über den Befund der Messungen ist Buch zu führen.

In mindestens halbjährigem Turnus sind die einzelnen Isolationspunkte durchzumessen.

§ 5. An Stelle des § 26 a Absatz 1 der Mittelspannungsvorschriften tritt folgende Bestimmung: Das Arbeiten an stromführenden Fahrdrähten und Speiseleitungen ist gestattet, wenn es von instruierten Arbeitern geschieht, die auf einem isolierenden Turmwagen oder einer isolierenden Leiter stehen. Zum Zwecke gegenseitiger Hilfeleistung sollen stets zwei Arbeiter gemeinschaftlich arbeiten.

§ 6. Bei Bahnen, deren Schienen als Leitung dienen, ist der negative Pol der Dynamomaschine durch isolierte Leitungen mit der Gleisanlage zu verbinden.

III. Fahrzeuge.

Für Motorwagen und für Anhängewagen, soweit die letzteren mit Starkstromleitung ausgerüstet sind, gelten die sämtlichen im folgenden aufgeführten Bestimmungen und nur diese.

§ 7. Bezeichnungen. a) Isolation. Eine Isolation gilt als genügend, wenn die Isolierstoffe in solcher Stärke verwendet werden, dass sie bei den im Betrieb vorkommenden Temperaturen von einer Spannung, welche die Betriebsspannung um 1000 Volt überschreitet, nicht durchschlagen werden. Ausserdem muss das Isoliermaterial derartig gestaltet und bemessen sein, dass ein merklicher Stromübergang über die Oberfläche (Oberflächenleitung) unter normalen Verhältnissen nicht eintreten kann. Bei Steuerapparaten (Kontrollern) ist imprägniertes Holz als Isolationsmaterial zulässig.

b) Erdung. Als genügende Erdung für Fahrzeuge gilt die leitende Verbindung mit den Radreifen durch das Untergestell.

c) Isolierte Leitungen. Als isolierte Leitungen gelten umhüllte Leitungen, die nach 24stündigem Liegen im Wasser eine Überspannung von 1000 Volt gegen das Wasser eine Stunde lang aushalten.

d) Feuersichere Gegenstände. Als feuersicher gilt ein Gegenstand, der nicht entzündet werden kann oder nach Entzündung nicht von selbst weiter brennt.

§ 8. Generatoren, Motoren und Transformatoren. Die Gestelle von zugänglich aufgestellten Generatoren, Motoren und Transformatoren müssen dauernd geerdet sein. Durch die Art der Aufstellung oder durch besondere Geländer muss dafür gesorgt sein, dass Personen auch bei Schleudern des Wagens nicht in Berührung mit blanken stromführenden oder sich bewegenden Teilen gelangen können. Die Aufstellung ist derart auszuführen, dass etwaige im Betriebe auftretende Feuererscheinungen keine Entzündung von brennbaren Stoffen hervorrufen können.

§ 9. Akkumulatoren. Akkumulatoren elektrischer Fahrzeuge können auf Holz montiert werden, wobei einmalige Isolation durch nicht hygroskopische Zwischenlagen ausreicht. Soweit nur instruiertes Personal in Betracht kommt, braucht die Möglichkeit, dass eine Person Teile verschiedener Spannung gleichzeitig berührt, nicht ausgeschlossen sein. Während des normalen Betriebes dürfen die Akkumulatoren dem Publikum nicht zugänglich sein. Celluloid ist zur Verwendung als Kästen und ausserhalb des Elektrolyten unzulässig.

§ 10. Schalttafeln. Schalttafeln in oder an Fahrzeugen dürfen Holz nur als Konstruktionsmaterial enthalten. Stromführende blanke Metallteile und solche Apparate, welche betriebsmässig Funken erzeugen, müssen auf feuersicherer Unterlage montiert und müssen derart angeordnet sein, dass die Feuererscheinungen weder Personen noch brennbare Stoffe gefährden können. Blanke stromführende Metallteile müssen gegen zufällige Berührung geschützt sein.

§ 11. Leitungen. a) Der Querschnitt aller Leitungsdrähte innerhalb des Fahrzeuges ist nach der Normalstromstärke der vorgeschalteten Sicherung laut folgender Tabelle oder stärker zu bemessen. Drähte für Bremsstrom sind mindestens von gleicher Stärke wie die Motorzuleitungen zu wählen.

Querschnitt in Quadratmillimetern	Normalstromstärke der Sicherung	Querschnitt in Quadratmillimetern	Normalstromstärke der Sicherung
0,75	2	35	80
1	4	50	100
1,5	6	70	130
2,5	10	95	165
4	15	120	200
6	20	150	235
10	30	185	275
16	40	240	330
25	60		

b) Isolierte Leitungen müssen eine Gummiisolierung in Form einer ununterbrochenen nahtlosen und vollkommen wasserdichten Hülle besitzen. Die Gummiisolierung muss durch eine Umhüllung aus faserigem Material noch besonders geschützt sein.

c) Mehrfachleitungen sind zulässig, wenn jeder Leiter nach b isoliert ist. Es ist hierbei statthaft, die isolierten Leitungen anstatt einzeln auch durch gemeinsame Umhüllung aus faserigem Material zu schützen.

d) Wenn vulkanisierte Gummiisolierung verwendet wird, muss der Leiter verzinnt sein.

e) Blanke Leitungen sind nur als Verbindungsglieder zwischen Batteriezellen oder Widerstandselementen und nur dann zulässig, wenn sie sicher isoliert verlegt und gegen Berührung geschützt sind.

f) Isolierte Leitungen in Fahrzeugen müssen so geführt werden, dass die Isolierung nicht durch die Wärme benachbarter Widerstände gefährdet werden kann.

g) Alle festverlegten Leitungen sind derart anzubringen, dass sie nur dem instruierten Personal, nicht aber dem Publikum zugänglich sind.

h) Leitungsdrähte dürfen nur durch Verlöten, Verschrauben oder auf eine gleichwertige Verbindungsart miteinander verbunden werden. Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Drahtenden zu verbinden, ist unzulässig. Zur Herstellung von Lötstellen dürfen Lötmittel, welche das Metall angreifen, nicht verwendet werden. Die fertige Verbindungsstelle ist entsprechend der Art der betreffenden Leitungen sorgfältig zu isolieren.

i) Die Verbindung der Leitungen mit den Apparaten ist mittels gesicherter Schrauben oder durch Lötung auszuführen. Drahtseile bis zu 6 *qmm* und Drähte bis zu 25 *qmm* Kupferquerschnitt können mit angebogenen Ösen an den Apparaten befestigt werden. Drahtseile über 6 *qmm*, sowie Drähte über 25 *qmm* Kupferquerschnitt müssen mit Kabelschuhen oder einem gleichwertigen Verbindungsmittel versehen sein. Drahtseile von geringerem Querschnitt müssen, wenn sie nicht gleichfalls Kabelschuhe erhalten, an den Enden verlötet werden.

k) Nebeneinander verlaufende isolierte Leitungen müssen entweder zu Mehrfachleitungen mit einer gemeinsamen wasserdichten Schutzhülle zusammengefasst werden, derart, dass ein Verschieben und Reiben der Einzelleitungen ausgeschlossen ist; dabei ist die Isolierhülle an den Austrittsstellen von Leitungen gegen Wasser abzudichten;

oder die Leitungen sind getrennt mittels Isolierkörper zu verlegen und wo sie Wände oder Fussböden durchsetzen, durch Isoliertüllen so zu führen, dass sie sich an diesen Stellen nicht scheuern können.

l) Isolierte Drähte können direkt auf Holz verlegt und Holzleisten können zur Verkleidung derselben benutzt werden.

m) Verbindungsleitungen zwischen Motorwagen und Anhängewagen sollen so angebracht sein, dass das Publikum nicht in die Lage gesetzt wird, sie zufällig zu berühren. Bewegliche Kuppelungsstücke sollen so mit Isoliermaterial bekleidet sein, dass auch die ausgelösten Kontaktteile beim etwaigen Niederfallen keine leitende Berührung machen können.

n) Leitungen, die einer Verbiegung oder Verdrehung ausgesetzt sind, müssen aus leicht biegsamen Seilen hergestellt und über der Isolierung mit einem wasserdichten Schlauch versehen sein.

o) In unmittelbarer Nähe von Metallteilen sind die Leitungen über der Isolierung noch mit einem besonderen feuchtigkeitsbeständigen Isolierrohr oder Schlauch zu überziehen; alsdann ist die Erdung und Verbindung der Metallteile nicht erforderlich.

p) Krampen sind nur zur Befestigung von blanken Leitungen, die mit dem Wagengestell dauernd in leitender Verbindung sind, zulässig.

q) Rohre können zur Verlegung isolierter Leitungen in und auf Wänden, Decken und Fussböden verwendet werden, sofern sie die Leitungen gegen die Wirkungen von Feuchtigkeit schützen. Sie können aus Metall oder feuchtigkeitsbeständigem Isolierstoff oder aus Metall mit isolierender Auskleidung bestehen. Bei Verwendung eiserner Rohre für Ein- oder Mehrphasenstromleitungen

müssen sämtliche zu einem Stromkreise gehörige Leitungen in demselben Rohre verlegt werden. Drahtverbindungen dürfen nicht innerhalb der Rohre, sondern nur in Verbindungsdosen ausgeführt werden, die jederzeit leicht geöffnet werden können.

Die Rohre sind so herzurichten, dass die Isolierung der Leitungen durch vorstehende Teile oder scharfe Kanten nicht verletzt werden kann; die Stossstellen müssen sicher abgedichtet sein. Metallrohre sind leitend zu verbinden und zu erden. Die Rohre sind so zu verlegen, dass sich an keiner Stelle Wasser ansammeln kann.

§ 12. Apparate. Die stromführenden Teile von Apparaten müssen, soweit sie der zufälligen Berührung zugänglich sind, mit Schutzkästen umgeben sein.

Die Kontakte sind derart zu bemessen, dass im regelrechten Betriebe keine Erwärmung von mehr als 50° C. über Lufttemperatur eintreten kann.

§ 13. Steuerapparate. Die Kurbeln der Steuerapparate müssen, und zwar nur in ausgeschalteter Stellung, abnehmbar sein.

§ 14. Sicherungen. a) Jeder Motorwagen muss mindestens eine Hauptsicherung für die motorischen Teile haben. Die Lichtleitung und die Heizleitung müssen besonders gesichert sein, ebenso sind Akkumulatorenstromkreise zu sichern.

Der Stromkreis einer Kurzschlussbremse darf keine Sicherung enthalten.

b) Die Sicherungen, zu denen auch die Automaten zu rechnen sind, müssen derart konstruiert sein, dass beim Funktionieren derselben (selbst bei Kurzschluss) kein dauernder Lichtbogen entstehen kann. Bei Abschmelzsicherungen darf der Kontakt nicht unmittelbar durch weiche plastische Metalle und Legierungen vermittelt werden, sondern wenn die Sicherung aus weichem Metall besteht, müssen die Schmelzdrähte oder Schmelzstreifen in Kontaktstücke aus Kupfer oder gleich geeignetem Metall eingelötet sein.

Die Maximalspannung und die Normalstromstärke sollen auf dem auswechselbaren Einsatz der Sicherung verzeichnet sein.

c) Die Sicherungen müssen so angebracht sein, dass sie beim Funktionieren weder das Publikum gefährden, noch für benachbarte brennbare Gegenstände eine Feuersgefahr herbeiführen.

§ 15. Ausschalter. Der Lampenkreis, der etwaige Heizkreis und der etwaige Akkumulatorenkreis müssen selbständig ausschaltbar sein. Die Schalter müssen so konstruiert sein, dass sich kein dauernder Lichtbogen bilden kann und dass man erkennen kann, ob der Stromkreis geschlossen oder offen ist.

Metallkontakte sollen Schleifkontakte sein.

Die Schalter müssen so angebracht bezw. geschützt sein, dass sie weder das Publikum, noch benachbarte brennbare Teile gefährden können. Griffe und Gehäuse sind thunlichst aus Isoliermaterial herzustellen.

§ 16. Widerstände. Widerstands- und Heizapparate sind derart anzuordnen, dass eine Berührung zwischen den wärmeentwickelnden Teilen und entzündlichen Stoffen, sowie eine feuergefährliche Erwärmung der letzteren nicht vorkommen kann.

Die stromführenden Teile derselben dürfen während des normalen Betriebes dem Publikum nicht zugänglich sein.

§ 17. Lampen und Zubehör. Die unter Spannung stehenden Teile von Lampen nebst Zubehör müssen, soweit sie ohne besondere Hilfsmittel erreichbar sind, mit einer Schutzhülle aus Isoliermaterial versehen sein.

Die stromführenden Teile der Fassungen müssen auf feuersicherer Unterlage montiert und durch feuersichere Umhüllung vor Berührung geschützt sein. Stoffe, die in der Wärme entzündlich sind oder Formveränderungen erleiden, sind als Bestandteile im Innern der Fassungen ausgeschlossen.

Fassungen mit Ausschaltern (Hahnfassungen) sind verboten.

Für Bogenlampen gelten die allgemeinen Mittelspannungsvorschriften.

§ 18. Der Verband Deutscher Elektrotechniker behält sich vor, Abänderungen und Erweiterungen dieser Vorschriften nach Bedürfnis herauszugeben.

In Frankreich ist ein Gesetzentwurf über Energieverteilungsanlagen in Vorbereitung. (E T Z 1899, H. 5, S. 108.)

Der Entwurf des Schweizerischen Bundesrates zu einem Gesetze über die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen spricht den Grundsatz aus, dass die Errichtung und der Betrieb der elektrischen Anlagen der Oberaufsicht des Bundes zu unterstellen seien. Mit Bezug auf die Fernsprechleitungen sieht er vor, dass sie die Erde nicht als Leitung benutzen dürfen, sobald sie mit Starkstromanlagen in Berührung kommen können. Diese Vorschrift der vollkommenen Isolierung bedingt, dass die meisten Fernsprechleitungen nach und nach mit Rückleitungsdrähten auszurüsten oder als Doppelleitungen einzurichten sind. Die Frist zu diesen Abänderungen beträgt zehn Jahre; die Kosten belaufen sich voraussichtlich auf rund 20 Millionen Frs. Zu den Kosten haben die Schwachstromanlagen $^1/_3$, die Starkstromanlagen $^2/_3$ beizutragen. Das von Bundeswegen zu ernennende Inspektorat soll dem bereits bestehenden Inspektorate des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins übertragen werden.

In dem Abschnitt über die Haftpflicht bei eintretenden Schädigungen von Eigentum und Leben ist der Grundsatz ausgesprochen, dass in Haftpflichtfällen sowohl Stark- wie Schwachstromanlagen gemeinsam schadenersatzpflichtig sind. Die Verteilung dieser Haftung auf die einzelnen Betriebsunternehmungen setzt nötigenfalls der Richter von Fall zu Fall fest. Diese Bestimmungen sollen bewirken, dass sich die Unternehmungen in ihrem Interesse bemühen, die nach dem Stande der Wissenschaft und Technik dargebotenen Schutzvorrichtungen gemeinsam mit einander aus eigenem Antriebe anzuwenden und derart den Unfällen nach Möglichkeit vorzubeugen.

Ein weiterer Abschnitt bewilligt den Elektrizitätswerken das Enteignungsrecht für ihre technischen Anlagen und für die Stromleitungen und setzt die Grundsätze fest, die dafür massgebend sein sollen.

Aus den inzwischen in Kraft getretenen Vorschriften interessieren uns an dieser Stelle besonders die Vorschriften für die Erstellung der Stromleitungen der elektrischen Bahnen.

Für die Erstellung der Stromleitungen aller elektrischen Bahnen, welche dem öffentlichen Verkehr dienen oder öffentlichen Grund und Boden benützen, gelten bis auf Weiteres folgende Vorschriften:

A) Allgemeines.

Art. 1. Die Höhe der als zulässig zu erachtenden Betriebsspannung ist folgendermassen festgesetzt:

1. Für Bahnen im Innern der Städte und grösserer Ortschaften: 600 V.
2. Für Strassenbahnen ausserhalb der Städte: 750 V.
3. Für Leitungen elektrischer Bahnen auf eigenem Bahnkörper auch höhere Spannungen als 750 V., sofern alle möglichen Massnahmen zur Verhütung der Gefährdung der Reisenden, des Personals und des Betriebes getroffen werden. Die Anordnung dieser Massnahmen ist Sache des eidgenössischen Eisenbahndepartements.

Unter den in Ziffer 2 und 3 genannten Spannungen ist die Spannung zwischen Leitung und Erde verstanden.

B) Konstruktion der Leitungen.

1. Luftleitungen.

Art. 2. Drähte. Bei Drähten für Luftleitungen soll der Durchhang und die Bruchfestigkeit derart gewählt werden, dass bei —20° C noch mindestens fünffache Sicherheit gegen Bruch unter Berücksichtigung des Eigengewichtes und des Winddruckes vorhanden ist.

Drähte aus Kupfer unter 3 *mm* Durchmesser sollen dabei nicht verwendet werden. Für Drähte aus anderen Materialien gilt als Grenze ein derselben absoluten Festigkeit entsprechender Querschnitt.

Der statischen Berechnung ist ein Winddruck von 100 *kg* auf das Quadratmeter der senkrecht getroffenen Fläche zu Grunde zu legen; für cylindrische Körper, wie Stangen und Drähte, sind $^7/_{10}$ des Druckes zu nehmen.

Kupferdrähte bis zu 8 *mm* Durchmesser sollen eine Bruchfestigkeit von wenigstens 30 *kg* f. d. Quadratmillimeter besitzen.

Für Kontaktleitungen dürfen nur Drähte von mindestens 35 *kg* Bruchfestigkeit f. d. Quadratmillimeter verwendet werden.

Art. 3. Mit sämtlichem Drahtmaterial müssen Festigkeitsproben in der eidgenössischen Materialprüfungsanstalt in Zürich vorgenommen werden.

Die Protokolle dieser Proben sind im Original der eidgenössischen Kontrolle einzusenden.

Art. 4. Stangen. Wenn hölzerne Stangen verwendet werden, so müssen dieselben gut imprägniert sein.

Der Durchmesser solcher Stangen darf nicht weniger betragen als:

bei	8	10	12	16	20 *m* Länge
am Fussende	18	20	24	28	32 *cm*
am Kopfende	12	12	15	15	15 »

Das Stangenende ist durch eine Metallkappe zu schützen. Die Stangen sind auf eine der Natur des Bodens entsprechende Tiefe einzugraben, gut zu verrammen, eventuell einzubetonieren und, wo nötig, zu verankern oder zu verstreben.

Art. 5. Bei hölzernen Stangen soll die Jahreszahl ihrer Aufstellung und die laufende Stangennummer deutlich und dauerhaft markiert sein.

Art. 6. Gestänge. Die Gestänge sind in geraden Strecken unter Annahme einseitiger Wirkung des sonst beidseitig wirkenden Zuges und unter Berücksichtigung des Winddruckes mit mindestens zweifacher Sicherheit gegen Bruch zu konstruieren.

Eckstangen sind ausserdem mit dreifacher Sicherheit gegenüber der effektiven maximalen Zugbelastung unter Berücksichtigung vorhandener Verankerung zu erstellen.

Für den Winddruck gelten hier die Bestimmungen von Art 2.

Art. 7. Die Verlängerung hölzerner Stangen durch Zusammensetzen mehrerer Holzstangen ist nicht gestattet.

Art. 8. Die Verankerungen sind möglichst sorgfältig auszuführen. Sollen Ankerdrähte an Gebäuden befestigt werden, so hat dies womöglich am Mauerwerk zu geschehen. Ankerdrähte, die an brennbaren Gebäudeteilen befestigt sind, müssen ausserhalb dieser Gebäudeteile (nach Art. 49 der allgemeinen Vorschriften über elektrische Anlagen) geerdet werden. Wo die Erdung nicht möglich ist, sind die Ankerdrähte von den brennbaren Gebäudeteilen zu isolieren.

Art. 9. Kontaktleitungen sollen unter sich und gegen die Erde mittels zweier Isolatoren isoliert sein, deren jeder für sich allein der vollen Betriebsspannung genügt.

Die zweite, gegen die Erde gewendete Isolierung soll möglichst nahe der Kontaktleitung angebracht werden.

Die verwendeten Isolationskörper sollen mechanisch sicher und wetterbeständig sein. Die Holzstangen sind nicht als eigentliche Isolation zu betrachten.

Spanndrähte, Aufhänge- und Tragvorrichtungen von Kontaktleitungen sind den letzteren gleich zu achten, wo sie nicht durch einen für die Betriebsspannung für sich allein genügenden und wetterbeständigen Isolationskörper vom Kontaktdraht getrennt sind.

Art. 10. Der Abstand zwischen Leitungsdrähten und Obstbäumen oder zugänglichen Gebäudeteilen soll so gross sein, dass die Drähte ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel nicht berührt werden können.

Art. 11. Die tiefsten Punkte der untersten Leitungsdrähte sollen sich mindestens 6 *m* über Schienenoberkante befinden. Bei Strassenunterführungen können Ausnahmen gestattet werden.

Bei Kontaktleitungen von Bahnen mit eigenem Bahnkörper findet diese Bestimmung nur bei Kreuzungen mit Strassen und Fahrwegen ihre Anwendung.

Art. 12. Schienenstossverbindungen. Bei elektrischen Bahnen, welche die Schienen als Stromleitung benützen, soll jeder Schienenstoss zwei Verbindungen von mindestens je 50 *qmm* Kupferquerschnitt oder eine diesen beiden elektrisch gleichwertige Verbindung haben.

Diese Verbindungen sind so zu konstruieren, dass ein möglichst gut leitender und dauerhafter Kontakt gesichert ist.

Art. 13. Alle Freileitungen und insbesondere auch die Gestänge sind einer regelmässigen genauen Kontrolle zu unterziehen.

Schadhaft gewordene Gestänge und Leitungsdrähte sind rechtzeitig, d. h. bevor sie gefahrdrohend werden, zu ersetzen.

Nötigenfalls wird die eidgenössische Kontrollstelle entscheiden.

Die Inspektionen der Gestänge und Überführungen über Plätze, Strassen oder Eisenbahnen, sowie bei Kreuzungen oder Parallelführungen verschiedener Leitungen, sind besonders häufig und genau vorzunehmen.

Die Isolation der Leitungen muss stets so vollkommen als möglich erhalten und in regelmässigen Zeitintervallen gemessen und protokolliert werden. Gleichzeitig müssen auch alle Erdleitungen gründlich nachgesehen werden.

2. Unterirdische Leitungen.

Art. 14. Rückleitungskabel bei elektrischen Bahnen können blank und ohne weiteren Schutz verlegt werden.

C) Parallelführungen.

1. Parallelführungen von Stark- und Schwachstromleitungen.

Art. 15. Niederspannungsleitungen oder Schwachstromleitungen dürfen an den Stangen der Kontaktleitungen befestigt werden; Hochspannungsleitungen sind dagegen auf besonderem Gestänge zu führen.

Die Parallelführungen von Schwachstromleitungen auf diesem Gestänge soll möglichst vermieden werden. An Stellen, wo sie nicht zu umgehen ist, wie z. B. da, wo die Betriebsverhältnisse eigene Telephon- oder Signalanlagen mit Leitungen längs des Starkstromgestänges erfordern, soll die Starkstromleitung oberhalb der Schwachstromleitung geführt werden.

Der minimale Abstand der Drähte darf nicht weniger als 1 *m* betragen, ferner soll das Herunterfallen der Drähte der Hochspannungsleitungen infolge Isolatorenbruch, Bruch oder Herausfallen der Isolatorenstützen durch besondere, von den Isolatorenstützen unabhängige Fangarme oder Fangrahmen verhütet werden. Die Konstruktion dieser Fangvorrichtungen soll nach Art. 26 dieser Vorschriften ausgeführt werden. Für die Befestigung der Leitungen an den Isolatoren ist in diesem Falle der Arretierbund (Art. 18) anzuwenden.

Bei solchen Telephon- oder Signalanlagen, die ausschliesslich dem eigenen Betrieb der Bahn dienen, können diese Fangvorrichtungen weggelassen werden. Die zugehörigen Telephon- oder Signalstationen müssen dann aber derart für die betreffende Spannung isoliert und mit isolierten Ständen für die Bedienung versehen sein, dass auch bei Eintritt der betreffenden Spannung in die Apparate für deren Bedienung keine Gefahr entsteht. Solche Telephon- oder Signalleitungen sind gegenüber anderen Schwachstromanlagen auf der Strecke und in Gebäuden als Hochspannungsleitungen zu betrachten.

Art. 16. Bei Parallelführungen von Schwachstrom- und Hochspannungsleitungen auf benachbarten getrennten Gestängen soll,

wo immer möglich, durch genügenden Abstand der Leitungen, Anbringung passender Ankerdrähte oder Streben, oder Anwendung eiserner einbetonierter Gestänge verhindert werden, dass die Stangen der einen Leitung auf die andere Leitung fallen können.

2. Parallelführung von Hoch- und Niederspannungsleitungen.

Art. 17. Die Parallelführung von Hoch- und Niederspannungsleitungen auf denselben Gestängen soll möglichst vermieden werden.

An Stellen, wo sie nicht zu umgehen ist, soll die Hochspannungsleitung oberhalb der Niederspannungsleitung geführt werden. Der Abstand darf nicht weniger als 1 *m* betragen.

Art. 18. Sowohl bei Parallelführung wie bei Kreuzungen soll für die Hochspannungsleitung ein Herunterfallen der Drähte infolge Isolatorenbruch, Herausfallen oder Abbrechen der Isolatorenstützen, durch besondere, von den Isolatorenstützen unabhängige Fangarme oder Fangrahmen nach Art. 26 verhindert werden. Die Befestigung der Leitungsdrähte an den Isolatoren ist in der Weise auszuführen, dass ein Gleiten derselben im Bunde nicht möglich ist (Arretierbund).

D) Hochspannungsleitungen längs elektrischer Bahnen.

Art. 19. Wenn für die Hochspannungsleitungen Holzstangen angewendet werden, sind dieselben überall möglichst an der äussersten Grenze des Bahnkörpers aufzustellen. Diese Stangen sind solid zu fundieren und sämtlich derart zu verstreben oder metallisch bahnauswärts zu verankern, dass sie bei Bruch das Lichtraumprofil der Bahn nicht erreichen können.

Bei Anwendung von eisernen Masten kann die Leitung näher an die Bahn gerückt werden, sofern dies der Bahnbetrieb im allgemeinen gestattet.

Die Entfernung der Stangen der Hochspannungsleitung unter sich darf diejenige der Kontaktleitungsstangen nicht überschreiten.

Die Führung einer Leitung auf den zwischen dem Bahngleise und der Hochspannungsleitung stehenden Kontaktleitungsstangen ist möglichst zu vermeiden.

Das Herunterfallen der Drähte infolge Isolatorenbruch, Bruch oder Herausfallen der Isolatorenstützen muss durch die Anbringung von Fangarmen oder Fangrahmen nach Art. 26 verhütet werden.

Es müssen ausserdem Vorrichtungen angebracht werden, welche bei Bruch der Leitungen die sofortige und automatische Abstellung des Stromes sicher bewirken.

Für die statische Berechnung der Drähte und des Gestänges gelten die Bestimmungen der Art. 2 und 6.

E) Kreuzungen.

1. Kreuzungen zwischen Hoch- und Niederspannungsleitungen.

Art. 20. Bei Kreuzungen zwischen Hoch- und Niederspannungsleitungen ist die Hochspannungsleitung oberhalb der Niederspannungsleitung zu führen.

Die Kreuzung ist entweder am gleichen Gestänge mit einem minimalen Abstande von 1 *m* zwischen beiden Leitungen, oder zwischen zwei möglichst nahe gestellten Gestängen der Hochspannungsleitung mit minimalem Abstande von 1.5 *m* zwischen beiden Leitungen auszuführen.

In gleicher Weise sollen Kreuzungen zwischen Hochspannungsleitungen und zwischen Niederspannungsleitungen verschiedener Betriebe (des gleichen Werkes oder verschiedener Werke) ausgeführt werden.

Art. 21. Die Kreuzungen der Leitungen mit dem Gleise müssen nach den allgemeinen Vorschriften über Kreuzungen elektrischer Leitungen mit Bahnen ausgeführt werden. (Allgemeine Vorschriften über elektrische Anlagen Art. 106 bis 126.)

2. Schwachstromüberführungen über Bahnkontaktleitungen.

Art. 22. Es soll durch möglichste Zusammenfassung der kreuzenden Schwachstromdrähte in grössere Stränge die Zahl der Kreuzungsstellen thunlichst reduziert werden.

Art. 23. a) Wo Überführungen von Schwachstromleitungen über oberirdische Kontaktleitungen, welche die Schienen oder die Erde für die Stromleitung benützen, notwendig sind, sollen über den Kontaktleitungen und zu denselben parallel Schutzdrähte gemäss Art. 35 gezogen werden.

b) Nur da, wo die Anbringung von solchen Schutzdrähten ausserordentlich erschwert ist, soll das Herabfallen der Schwachstromdrähte durch ein solides, nach Art. 27—34 konstruiertes, unterhalb und seitlich des Stranges der Schwachstromdrähte geschlossenes Schutznetz, welches mit den Schienen und der Erde zu verbinden ist, verhindert werden.

c) Wenn die Überführung eines einzelnen Schwachstromdrahtes (mit Einschluss der Rückleitung) eine Spannweite von 30 *m* nicht überschreitet, so kann das Fangnetz weggelassen werden, insofern die Leitung mit einem 3 *mm* Stahldraht erstellt ist.

Art. 24. Diese Schutznetze dürfen nur dann an den Schwachstromgestängen befestigt werden, wenn letztere derart konstruiert, befestigt und verankert sind, dass sie für die bei —20° C. aus dem reinen Drahtgewicht resultierenden Spannungen noch eine vierfache Sicherheit gegen Bruch bieten.

Art. 25. Wo die Anbringung von Schutzdrähten oder Schutznetzen aus irgend welchen Gründen nicht ausführbar ist, sollen für die Schwachstromleitungen die sogenannten Mertsching'schen Erdschienen oder eine gleichwertige Anordnung angebracht werden (Art. 36).

F) Schutzvorrichtungen.

1. Fangarme oder Fangrahmen.

Art. 26. a) Die Fangarme oder Fangrahmen, gegen das Herunterfallen der Leitungsdrähte bei Isolatorenbruch, Bruch oder Herausfallen der Isolatorenstützen sind aus starkem Eisen so zu konstruieren, dass bei genannten Vorkommnissen ein Herunterfallen der Drähte vom Gestänge und Berührung mit anderen Drähten unmöglich ist.

b) Zu dem Zwecke sind entweder die Fangrahmen umschliessend zu erstellen, oder die Fangarme sollen in der Höhe über die Isolatoren hinausreichen.

c) Der Minimalabstand zwischen Fangarmen oder Fangrahmen und den Leitungsdrähten soll 10 *cm* betragen.

2. Schutznetze.

Art. 27. a) Die Befestigungsrahmen der Schutznetze sind derart zu konstruieren und so an den Gestängen zu befestigen, dass der Zug der Schutznetzdrähte auch bei Schneebelastung die Rahmen nicht wesentlich deformiert und das Drahtnetz dabei die zum Auffangen der Leitungsdrähte nötige Form beibehält.

b) Die Rahmen tragen die nötigen Vorrichtungen zur Befestigung der Längsdrähte, und zwar bei isolierten Fangnetzen zur Aufnahme der entsprechenden Isolatoren, bei geerdeten Netzen zur gleichzeitigen Herstellung einer gut leitenden Verbindung zwischen den Längsdrähten und der Erde.

Art. 28. Der Minimalabstand der Schutznetze und der Schutznetzrahmen von den Leitungsdrähten darf bei keiner Temperatur weniger betragen als:

20 *cm* in horizontaler Richtung,
40 *cm* in vertikaler Richtung.

Art. 29. a) Für die Längsdrähte der Netze ist, wenn keine besonderen stärkeren Tragseile verwendet werden, galvanisierter Stahldraht von mindestens 3 *mm* Durchmesser und 140 *kg* Bruchfestigkeit f. d. Quadratmillimeter zu verwenden. Der Abstand der Längsdrähte darf nicht weniger als 25 *cm* betragen.

b) Werden für das Schutznetz zwei oder mehr stählerne Tragseile von mindestens 4 *mm* Durchmesser verwendet, so darf der Durchmesser der übrigen Längsdrähte auf 2 *mm* reduziert werden.

c) Die Tragseile und Längsdrähte sollen mit Spannvorrichtungen versehen sein.

Art. 30. Die Querdrähte sollen aus Eisen-, Stahl- oder Kupferdraht von mindestens 1.5 *mm* Durchmesser bestehen.

Art. 31. Die Verbindungsstellen der Quer- und Längsdrähte sollen in einer gegen Verschiebung der Querdrähte sichernden Weise mit Bindedraht oder besonderen verzinnten Kreuzmuffen hergestellt werden. Lötungen sind ohne Anwendung von Lötwasser oder Säure auszuführen.

Art. 32. Die Schutznetze, bezw. die Längsdrähte sollen von den Rahmen für die betreffende Spannung ausreichend isoliert oder dann gut geerdet werden (nach Art. 49 der allgemeinen Vorschriften über elektrische Anlagen).

Art. 33. Wegen der für die Schutznetze zu befürchtenden Schnee- oder Eisbelastung soll ihre Länge möglichst beschränkt und genügender Durchhang gewährt werden.

Art. 34. Wo Schutznetze anzubringen sind, soll für ausreichende Festigkeit der Gestänge, sowie für genügende Verankerung oder Verstrebung derselben besondere Sorgfalt verwendet werden.

3. Schutzdrähte.

Art. 35. a) Die über den Kontaktleitungen der elektrischen Bahnen anzubringenden Schutzdrähte sollen mindestens 4 *mm* Durchmesser und 480 *kg* absolute Bruchfestigkeit haben.

b) Dieselben sind auf eine mit Rücksicht auf die überführten Schwachstromdrähte reichlich bemessene Länge derart über der Kontaktleitung anzubringen, dass eine Berührung herabfallender Schwachstromdrähte mit den Kontaktdrähten verhindert wird.

c) Wo die unter b) beschriebene Anordnung nicht ausführbar ist, können die Schutzdrähte derart seitlich der Bahn angebracht werden, dass herabfallende Schwachstromdrähte auf alle Fälle zuerst mit den Schutzdrähten in Berührung gelangen müssen, bevor sie die Kontaktleitung erreichen.

d) Diese Schutzdrähte sind an den Enden durch Kupferdrähte von mindestens 6 *mm* Durchmesser mit den Schienen zu verbinden. Die Tragvorrichtungen für diese Schutzdrähte sollen n i c h t gegen Erde isoliert werden.

4. Erdschienen.

Art. 36. Erdschienen müssen aus blankem Metall (z. B. Aluminium oder Kupfer) bestehen, unmittelbar vor den Isolatoren 2—3 *cm* unterhalb der übergeführten Schwachstromdrähte angebracht und mit der Schienenrückleitung verbunden werden.

G) Kreuzungen von Eisenbahnen mit Fahrdrahtleitungen elektrischer Bahnen.

Art. 37. Wenn elektrische Bahnen mit Kontaktleitungen andere Eisenbahnen kreuzen, so ist sowohl die Kontaktleitung selbst als die Rückleitung des Stromes bei der Kreuzungsstelle ohne Unterbruch durchzuführen, und zwar, soweit ohne Beeinträchtigung beider Bahnbetriebe möglich, die unterirdischen nach den Regeln für Unterführungen, die oberirdischen nach denen für Überführungen.

H) Schlussbestimmung.

Art. 38. Für alles hier nicht Vorgesehene gelten, soweit zutreffend, die Bestimmungen der allgemeinen Vorschriften über elektrische Anlagen.

I) Übergangsbestimmungen.

Art. 39. Die gegenwärtigen Vorschriften treten auf 1. August 1899 in Kraft. Auf diesen Zeitpunkt werden alle mit denselben in Widerspruch stehenden früheren Erlasse, insbesondere die Verordnung, betreffend die Erstellung von Telegraphen- und Telephonlinien vom 7. Dezember 1889, ausser Kraft gesetzt.

Art. 40. Diese Vorschriften sind bei der Erstellung neuer elektrischer Anlagen im ganzen Umfange zur Anwendung zu bringen. Für die Durchführung derselben gegenüber bereits bestehenden Anlagen kann der Bundesrat angemessene Fristen bestimmen und Modifikationen bewilligen.

Art. 41. Das Post- und Eisenbahndepartement ist mit der Vollziehung beauftragt.

K) Behördliche Bestimmungen.

Über die Befugnis der Behörde zum Erlass von Vorschriften über elektrischen Strassenbahnbetrieb giebt Dr. L. Kielmeyer-Stuttgart in den Mitteilungen des Vereins Deutscher Strassenbahn- und Kleinbahn-Verwaltungen folgende Aufklärungen.

Der Betrieb der elektrischen Strassenbahn giebt den Behörden in zweifacher Weise Anlass zur Erteilung von Vorschriften. Einmal giebt die Benutzung der öffentlichen Strassen und Plätze seitens der Bahnen die Notwendigkeit, aus verkehrs- oder sicherheitspolizeilichen Gründen die Konkurrenz zwischen dem Fahrbetriebe der Strassenbahnen und der übrigen die gleichen Strassen benutzenden Gefährte zu regeln, sodann aber bedingt die Benutzung des elektrischen Stromes eine Reihe von Massregeln zum Schutz des Publikums und des fremden Eigentums gegen seine physikalischen Einwirkungen, dazu gehören auch die Induktionswirkungen auf benachbarte elektrische Leitungen, insbesondere Schwachstromleitungen. Diesen beiden Anlässen entspricht die Thätigkeit der bei der Erlaubnis zum Bau und zum Betriebe von Strassenbahnen mitwirkenden Behörden.

Soll eine elektrische Strassenbahn gebaut werden, so entsteht die erste Frage: Ist die beabsichtigte Anlage konzessionspflichtig oder nicht? Die Gewerbeordnung zählt den Betrieb einer Strassenbahn nach den einer elektrischen Kraftanlage zu den konzessionspflichtigen Gewerben; mithin bedürfen die elektrischen Strassenbahnanlagen einer Erlaubnis im Sinne der Gewerbeordnung, es sei denn, dass in dem fraglichen Bundesstaate ein Landesgesetz existiere, welches den Strassenbahnbetrieb einer besonderen gesetzlichen Regelung unterwirft, etwa wie in Preussen und Hessen in den Gesetzen über Kleinbahnen. Da aber die Bahnen fremden Grund und Boden für ihre Anlagen benutzen, so müssen sie sich naturgemäss mit den Eigentümern derselben über die »Bedingungen« einigen, unter welchen ihnen die »Erlaubnis« zum Gebrauch der Strassen und Plätze erteilt werden soll. Dies ist aber nicht ein Akt der Konzessionierung seitens der städtischen oder fiskalischen Behörde,

welche diese Erlaubnis gegen Entgelt oder Einräumung gewisser Vorrechte erteilt, sondern nur die Ausübung des freien Verfügungsrechts über den ihr gehörenden Grund und Boden, wie dies bei jedem Privatmann in der gleichen Lage geschieht.

Wenn nun aber eine staatliche Aufsichtsbehörde Vorschriften über den elektrischen Strassenbahnbetrieb erlässt, so sind diese, da die fraglichen Anlagen nicht konzessionspflichtig sind, auch nicht als Konzessionsbedingungen im technischen Sinne aufzufassen, sondern haben rechtlich nur den Wert von sogenannten Verwaltungsverfügungen.

Zu der Rechtsverbindlichkeit einer solchen Verwaltungsverfügung gehört aber die Befugnis der anordnenden Behörde zu ihrem Erlasse. Es steht im konstitutionellen Staate durchaus nicht im Belieben einer Behörde, in einen Betrieb mit Anordnungen einzugreifen, weil sie irgendwelche Interessen durch ihn für gefährdet erachtet, sondern sie muss hierzu durch ein Gesetz ermächtigt sein. Der Bürger ist durch einen Verwaltungsgerichtshof gegen etwaige, nicht mit dem geltenden Recht im Einklang stehende Massregeln der Behörden geschützt, er kann sie im Wege der Beschwerde anfechten. Die Kraft von Gesetzen erhalten sie erst, wenn die Beschwerdefrist abgelaufen ist oder der Verwaltungsgerichtshof den Beschwerdeführer durch ein endgiltiges Urteil abgewiesen hat.

Das deutsche Strassenbahnrecht bildet die Grundlagen, auf denen die Behörden ihre Vorschriften aufzubauen haben. Die aus sicherheitspolizeilichen Gründen erlassenen Bestimmungen für den elektrischen Strassenbahnbetrieb erregen selten Bedenken.

Zur Aufstellung von Betriebsvorschriften hat der Rat und das Polizeiamt von Leipzig den Betrieb der elektrischen Strassenbahnen einer Regelung unterworfen, welche die Sicherheit des Verkehrs wie die Bequemlichkeit des Publikums in anerkennenswerter Weise berücksichtigt. Die 61 Paragraphen der Betriebsordnung zerfallen in sechs Abschnitte; diese betreffen die Betriebsleitung und das Betriebspersonal, geben Vorschriften über die Beschaffenheit der Wagen, über den Betrieb, sowie über das Verhalten des Publikums bei Benutzung der Strassenbahnen und bei der Annäherung an den Strassenbahnkörper und setzen Strafen für Zuwiderhandlungen gegen die Satzungen der Betriebsordnung fest.

Im Eingang der Betriebsordnung wird die Forderung der Stadt zum Ausdruck gebracht, dass die Leitung jedes elektrischen Bahnunternehmens in die Hände eines genügend vorgebildeten Oberbeamten gelegt werde, welcher das Unternehmen persönlich in allen seinen Teilen und den gesamten Dienst überwacht und vor den städtischen Behörden vertritt. Zur Kontrolle des Dienstpersonals hat dieser »Betriebsleiter« besondere Listen zu führen, welche den Behörden zugänglich sein müssen.

Das Personal selbst, dessen Auswahl besonderen Vorschriften unterliegt, ist genau mit den Vorschriften bekannt zu machen; sein Verhalten den Sicherheits- und Wohlfahrtspolizeibeamten sowie dem Publikum gegenüber erhält besondere Bestimmungen, deren Nichtbeachtung die Behörden berechtigt, die Dienstentlassung oder anderweitige Verwendung zu fordern. Die Ordnung der Dienstobliegenheiten im einzelnen wird einer besonderen Dienstordnung überlassen, deren Abfassung dem Unternehmer bezw. Betriebsleiter anheim gegeben wird, den Behörden jedoch zur Kenntnisnahme vorzulegen ist.

Eine Reihe von Vorschriften über die Dienstpflichten der Wagenführer, der Schaffner und der Kontrolleure sollen als Grundlage für dieselbe dienen. Dieselben weichen inhaltlich von den Vorschriften über den Betrieb der Pferdebahnen nur da ab, wo die Eigenart des elektrischen Betriebes besondere Berücksichtigung verlangt.

Der § 10, in welchem dies besonders hervortritt, möge deshalb hier zum Abdruck kommen. Er lautet:

> Während der Wagen sich auf der Strecke befindet, darf der Wagenführer seinen Platz auf dem Vorderperron des Wagens nur im Notfalle und erst dann verlassen, nachdem der Strom abgestellt, der Wagen festgebremst und die Umschalterkurbel abgenommen ist. Auch an den Endpunkten der Linien darf er sich erst dann vom Wagen entfernen, wenn er die Aufsicht

über letzteren einem anderen Bahnbediensteten übergeben und die vorstehend erwähnten Sicherheitsmassregeln angewendet hat.

Das Anfassen der Bremskurbel des Regulierapparates, sowie der elektrischen Schaltvorrichtungen seitens Unbefugter darf er unter keinen Umständen dulden.

Vom fahrenden Publikum wird die Bestimmung besonders dankbar begrüsst werden, welche den Schaffnern zur Pflicht macht, während des Aufenthaltes an den Endpunkten der Linie das Innere des Wagens durch Öffnen der Fenster und Thüren gehörig zu lüften.

Der nächste Abschnitt giebt in elf Paragraphen über die Beschaffenheit der Wagen sehr eingehende Vorschriften, aus denen gleichfalls die durch den elektrischen Betrieb bedingten besonders hervorgehoben zu werden verdienen. Einleitend werden die zur Verwendung kommenden Wagen in Motorwagen und Anhängewagen geteilt, an welche verschiedene Anforderungen gestellt werden.

Der § 20 verlangt, das elektrische Triebwerk jedes Motorwagens solle so stark sein,

dass es bei voller Besetzung des Wagens noch einen gleichfalls vollbesetzten Anhängewagen in den bedeutendsten Steigungen der Bahnstrecke ohne erhebliche Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeit fortbewegen kann.

Das Interesse des Publikums an gefälligem und sauberem Aussehen der Wagen wird durch besondere Vorschriften über Form und Farbe derselben gewahrt. Besonders eingehend sind die Normen über die anzuwendenden Bremsvorrichtungen, wobei gleichfalls der elektrische Betrieb zu Sonderbestimmungen Anlass giebt. Weitere Paragraphen ordnen die Aufnahmefähigkeit der Wagen und die Beschränkung ihrer Benutzung zu Reklamezwecken. Zum Schutz der Fahrgäste vor Kälte werden Friesdecken an den Fenstern und im Rücken verlangt unter Vorbehalt der Forderung einer besonderen Beheizung der Wagen. Eingehende Berücksichtigung erfahren die Vorrichtungen zur Kenntlichmachung der Fahrrichtung bei Tag und bei Nacht; die Wahl der Farben für die Signalscheiben und Laternen soll durch eine ein für alle Mal aufzustellende und vom Rate zu genehmigende Signaltafel bestimmt werden. Für die Beleuchtung des Wagens selbst wird das Anbringen von fünf elektrischen Glühlampen vorgeschrieben, von denen sich drei im Innern des Wagens an der Decke und je eine auf dem Vorder- und Hinterperron ebenfalls an der Decke befinden sollen, während die bisher für Lampen verwendeten Stellen an den Stirnwänden mit Notlampen zu besetzen sind.

Der dritte Abschnitt regelt in gleichfalls elf Paragraphen den Betrieb der Strassenbahnen und enthält Bestimmungen über die Bedienung der Wagen, den Fahrplan, die Fahrgeschwindigkeit, die Bewachung der Bahnstrecken, die Fahrpreise, wobei die Abgabe von Umsteigkarten in Aussicht genommen wird und ihre Bezahlung an das Fahrpersonal event. unter Benutzung von Zahlkästen.

Der oberirdische Betrieb der Strassenbahnen in Leipzig giebt Veranlassung zum Vorbehalt von Störungen und Eingriffen in die Bahnanlagen seitens der Feuerwehr.

Der darauf bezügliche § 41 lautet:

Bei Feuersgefahr ist die Feuerwehr berechtigt, die der Handhabung der Feuerlöscheinrichtungen hinderlichen Strassenbahnanlagen, insbesondere Leitungs- und Spanndrähte etc. soweit als nötig zu beseitigen und zu diesem Behufe auch zu zerstören, ohne dass den Unternehmern ein Schadenanspruch hierfür zusteht. Die Unternehmer sind aber verpflichtet, nach Beseitigung der Feuersgefahr für baldmöglichste Wiederherstellung der unterbrochenen Bahnstrecke auf eigene Kosten Sorge zu tragen.

Zur Vermeidung von Beschädigungen der Feuerwehrleute durch den elektrischen Strom sind diejenigen Teile der stromführenden Leitung, welche die Handhabung der Feuerlöscheinrichtungen hindern, vor Berührung derselben durch Anwendung der Stromausschalter stromlos zu machen, zu welchem Zwecke der Feuerwehr Schlüssel zu diesen Ausschaltern vor Beginn

des Betriebes einzuhändigen sind. Ausserdem hat der Betriebsleiter dann, wenn ein grösseres Schadenfeuer in den von der Bahn durchzogenen Strassen entsteht, sofort sachkundige Personen nach dem Brandplatze zu entsenden, welchen, soweit nötig, die Beseitigung der stromführenden Leitung obliegt.

Diese Bestimmungen lassen recht deutlich erkennen, wie sehr auch im Interesse der ungehinderten Ausführung von Löscharbeiten und der Ungestörtheit des Bahnbetriebes der unterirdische Betrieb angestrebt werden muss. Wenngleich die Aushändigung von Schlüsseln zu den Ausschaltern an die Feuerwehr und eine eingehende Unterweisung des Personals derselben die Notwendigkeit einer Zerstörung umfangreicher Teile der Bahnanlagen sehr verringern wird, so lassen sich doch unschwer Fälle denken, wo die bei plötzlichen grossen Schadenfeuern notwendigen Betriebsstörungen zu bedeutenden Schädigungen des Materiales und zu empfindlichem Ausfall an den Einnahmen führen können.

Die Bestimmungen der Betriebsordnung über das Verhalten des Publikums zum elektrischen Strassenbahnverkehr entsprechen vorwiegend den früher den Pferdebahnen gegenüber geforderten Rücksichten der Geschirrführer, Reiter etc. auf die Eigenart des an die Schienen gebannten Fahrbetriebes der Strassenbahnen. Neu ist auch hier nur der Schutz der gerade zum elektrischen Betriebe notwendigen Anlagen. So wird das Emporklettern an den die Leitungsdrähte tragenden Masten verboten, desgleichen das Anfassen der Leitungsdrähte und ihr Behängen mit Gegenständen irgend welcher Art; auch auf das Vermeiden ihrer Berührung durch das Hin- und Herwehen von Fahnen soll besonders Obacht gegebenwerden.

Den Schluss der Betriebsordnung bilden Vorschriften über Bestrafung ihrer Nichtbeachtung, die Kompetenz des Polizeiamtes in diesen Angelegenheiten und den Zeitpunkt ihres Inkrafttretens.

Die Stadt Berlin hat ebenfalls sehr eingehende Normativbestimmungen für den Bau und Betrieb elektrischer Bahnen im Stadtbezirk herausgegeben. Vergl. ETZ 1898, H. 2, S. 36 ff. u. 1898 H. 3, S. 53 ff.

Namen- und Sachregister.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

Druck von Oskar Leiner in Leipzig. 48321

Elektrotechnischer Verlag von Oskar Leiner, Leipzig,

Königsstrasse 26 B.

Liebetanz, Fr. Hilfsbuch für Installationen von Acetylen-Beleuchtungsanlagen. kl. 8°. 104 Seiten mit 85 Abbild. geb ℳ 3.75.

Inhalt: Herstellung und Eigenschaften von Calciumcarbid und Acetylen. Das Calciumcarbid. Einleitung. Wesen, Gewinnung und Eigenschaften des Calciumcarbids. Das Acetylen. Explosibilität. Giftigkeit. Verbrennung. Temperatur der Flammen. Farbe der Flamme. Wärmeverhältnis Leuchtkraft. Einwirkung des Acetylens auf Metalle. Verflüssigung. Apparate zur Darstellung des Acetylens. Verunreinigungen des Acetylens und deren Beseitigung. Brenner für Acetylen. Bestimmung der Acetylenausbeute aus Calciumcarbid. Preisverhältnis des Acetylen. Mischung des Acetylens mit anderen Gasen. Verwendung des Acetylens zum Betriebe von Motoren. Installation. Apparate. Aufstellung. Gasleitung. Prüfung der Rohrleitung. Werkzeuge. Druckmesser. Druckleger. Gasmesser. Regelung über Anordnung der Hilfsapparate. Allgemeine Verwaltungsmassregeln. Verordnung für die Herstellung und Verwendung von Acetylen.

Loose, Ingen. **Fritz,** und Ingen. **Max Schiemann. Taschenbuch** für Monteure elektrischer Strassenbahnen. Eine Anleitung zum Bau und zur Unterhaltung elektrischer Strassenbahnen mit Oberleitungs- und Akkumulatorenbetrieb. kl. 8°. 131 Seiten mit 112 Abbildungen, Millimeterpapier. Geb. ℳ 3.75.

Lux, Ing. Dr. **H. Die wirtschaftliche Bedeutung der Gas-** und Elektrizitätswerke in Deutschland. Eine volkswirtschaftlich-technische Untersuchung. gr. 8°. 131 Seiten. Mit 9 Figuren. Brosch. ℳ 3.—; gebd. ℳ 4.—.

Inhalt: I. Die Hauptdaten über die Gas- und Elektrizitätswerke. II. Spezialnachweisungen über die Gaswerke. III. Specialnachweise über die Elektrizitätswerke.

Luxenberg, Dr. **M. Die Bogenlichtschaltungen und Bogen-** licht-Gattungen. 2. vermehrte Aufl. gr. 8°. 51 Seiten mit 4 Figuren-Tafeln. Brosch. ℳ 2.50.

Inhalt: Wesen und Geschichte der drei Lampen-Gattungen. Entwicklungsgeschichte der Schaltungen. Die Abhängigkeit der Regulierung von der Konstruktion. Die Abhängigkeit der Regulierung von der Schaltung. Einzelschaltung. Parallelschaltung. Gruppenschaltung. Reihenschaltung.

Maresch, Ingenieur **Cornel. Kraftmaschinen zum Betriebe** dynamoelektrischer Stromerzeuger. Ein Lehr- u. Nachschlagebuch für Elektrotechniker, Elektromonteure, Industrielle u. s. w. gr. 8°. 236 Seiten. Mit 261 Abbild. Brosch. ℳ 4.25, gebd. ℳ 5.25.

Inhalt: I. Dampfmaschinen. Dampfmaschinen-Bestandteile. Besondere Einrichtungen. Besondere Dampfmaschinentypen. Dampfturbinen. II. Wassermotoren oder hydraulische Motoren. III. Gaskraftmaschinen oder Gasmotoren. IV. Diverse mindergebräuchliche Kraftmaschinen. Anhang.

Neureiter, Ingen. **Ferd. Die Verteilung der elektrischen** Energie in Beleuchtungsanlagen. gr. 8°. 257 Seit. Mit 94 Figuren. Brosch. ℳ 6.—. In Halbfranzband geb. ℳ 7.50.

Grundbegriffe. Die Glühlampe. Die Bogenlampe. Die Akkumulatoren. Die Wechselstrom-Transformatoren. Die Verteilung der elektrischen Energie in Leitungsnetzen. Die Verteilungssysteme für Gleichstrom- und für Ein- und Mehrphasen-Wechselstrombetrieb. Die Vorausberechnung der elektrischen Leitungen nach den technischen Anforderungen, sowie mit Rücksicht auf die Bedingungen der Sicherheit und Ökonomie.